

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Отделение сельскохозяйственных наук
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ
НОВОЧЕРКАССКИЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ А.К. КОРТУНОВА
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА
ООО «МЕЩЕРСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ
ВАРМИНСКО-МАЗУРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РЕСПУБЛИКИ ПОЛЬША
ИНСТИТУТ КОРМОПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ
ДЛИТЕЛЬНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ,
НАРУШЕННЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

Москва
2014

ББК 40.3
А26

Авторский коллектив:

И.В. Гурина, Т.М. Гусева, К.И. Довбан, В.Ф. Евтюхин, В.И. Желязко,
Д.А. Иванов, Н.А. Иванова, Н.Г. Ковалев, В.В. Копытовский,
С.М. Крутько, С.М. Курчевский, Ю.А. Мажайский, П.А. Михеев,
Д.А. Мусекаев, Т.Ф. Персикова, А.И. Поздняков, Л.А. Поздняков,
А.Д. Позднякова, П.Ф. Тиво, Ю.А. Томин, М.В. Царёва, Е.В. Широкова,
Саво М. Вучковић, Славен А. Продановић, Мила Савић, Mensur Vegara
В. Сондей, М. Вышковски, А. Скорвидэр-Намётко

Рецензенты:

И.П. Свинцов, академик РАН, доктор технических наук;
А.В. Шуравилин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

А26 **Агроэкологическое обоснование** ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях : монография. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. – 484 с.

ISBN

В монографии на основе научных исследований и обобщения отечественного и зарубежного опыта дано агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на деградированных длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях. Показаны основы ландшафтно-мелиоративных систем земледелия, принципы их создания с учетом природных особенностей. Дано описание комплекса агроэкологических приемов по оптимизации мелиоративных режимов, способствующих повышению продуктивности земель, получения экологически чистой продукции.

Предназначена для агрономов, почвоведов, мелиораторов, экологов и других специалистов.



ББК 40.3

© Коллектив авторов, 2014
© ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014
© ФГБНУ ВНИИМЗ, 2014
© ФГБОУ ВПО ДГАУ НГМИ, 2014
© ООО «МНТЦ», 2014
© Варминско-Мазурский университет Республики Польша, 2014
© БГСХА, 2014
© Институт кормопроизводства Республики Сербия, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Почва является одним из главных природных богатств человечества. Рациональное и бережное использование, постоянное поддержание плодородия – главная задача современного сельскохозяйственного производства. Сохранение и восстановление продуктивности загрязненных, деградированных и нарушенных земель – актуальная проблема современности, а рациональное использование почвы взаимосвязано с другой не менее важной задачей – ее охраной.

В монографии рассмотрены вопросы агроэкологического обоснования и приведены агромелиоративные мероприятия ведения земледелия как на минеральных, так и на торфяных почвах длительного использования. В частности, обоснована ландшафтно-минеральная система земледелия (ЛМСЗ), направленная на эффективное использование совокупности природных и производственных ресурсов агроландшафтов с целью получения высоких и стабильных урожаев и экологической устойчивости окружающей среды.

В книге описаны общие тенденции изменения агроэкологического состояния торфяных почв после длительного сельскохозяйственного использования. Показано, что экологически безопасная эволюция торфяных почв может быть достигнута только при определенной системе земледелия, включающей в себя специфические бездеградационные шадящие севообороты, системы удобрений и обработок.

Кроме того, описаны способы и методы технической и биологической рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами (ТМ).

Приведен мониторинг биологической рекультивации нарушенных земель урбанизированных территорий, позволяющий оценить ее результаты и возможность обосновать применение мелиоративных мероприятий для ускорения восстановления нарушенных комплексов геосистемы.

Большой интерес представляют и разработанные агроэкологические режимы и технологии использования стоков животноводческих комплексов при орошении сельскохозяйственных культур с учетом охраны почвенных и водных ресурсов в Белару-

си и Польше. Кроме того, рассмотрены технологические мероприятия по производству лугов и пастбищ в Сербии, обеспечивающие формирование природно-равновесного, динамически устойчивого и высокопродуктивного агроландшафта как на высокогорных, так и на низменных сельскохозяйственных угодьях.

В написании монографии принимали участие ученые ряда НИИ и высших учебных заведений Российской Федерации, Республики Беларусь, Республики Польша и Сербии.

Авторы выражают благодарность коллективу ООО «Мещерский научно-технический центр» за помощь при подготовке и издании монографии и надеются на дальнейшее сотрудничество.

Координаты ООО «МНТЦ»:

390013, г. Рязань, ул. Типанова, 7.

Тел. (4912) 25-71-99, 25-91-09; тел./факс 27-50-76.

E-mail: mntc@mntc-ryazan.ru; <http://www.mntc-ryazan.ru>

Глава 1. ГЕОСИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ МЕЛИОРАТИВНО-СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА ГУМИДНОЙ ЗОНЫ

Агрогеография (агрolandшафтоведение) – научная дисциплина, изучающая процессы возникновения, развития и функционирования агрогеосистем (АГС), а также разрабатывающая способы адаптации сельскохозяйственного производства к различным ландшафтным условиям. Под агрогеосистемой подразумевается геосистема, измененная в результате сельскохозяйственной деятельности человека. Агрономическая география исследует влияние, в основном, физико-географических условий на пространственные особенности размещения различных отраслей земледелия.

Основными задачами агроландшафтоведения являются установление закономерностей влияния ландшафтных условий на процесс произрастания сельскохозяйственных культур как в различных регионах, так и на разных уровнях организации географической оболочки, а также разработка разнообразных моделей адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) или их производных – ландшафтно-мелиоративных систем земледелия для различных ландшафтных условий и масштабных уровней. Многие агрогеографические идеи высказывали такие выдающиеся физико-географы, как Ф.Н. Мильков [28–30], В.А. Николаев [31, 32], В.И. Прокаев [39], Г.И. Швец [46] и другие, а также ученые-аграрники: В.И. Кирюшин [14], А.Н. Каштанов [12, 13], М.И. Лопырев [24, 25]. Ими были сформулированы основные подходы к формированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия, часть которых реализована на практике.

Агрогеография состоит из двух частей – агрономической и географической. Агрономическая часть этой дисциплины изучает вопросы влияния разнообразных агроприемов на плодородие почв и продуктивность растений в различных ландшафтах, в то время как географическая часть направлена на выявление влияния разнообразных ландшафтных условий на продуктивность и другие жизненные проявления культурных растений. Гармоничная взаимосвязь этих частей позволяет разработать теорию адаптации сельскохозяйственного производства к различным ландшафтным условиям, что приведет к снижению антропогенной

нагрузки на природу и зависимости от объема продукции и погодных условий. Современный агроном должен быть прежде всего природоустроителем, то есть решать производственные вопросы в комплексе с проблемами функционирования антропогенно-измененных природных систем, поэтому ему необходимы знания не только по технологии выращивания сельскохозяйственных растений, но и вопросам общей теории агроландшафтоведения.

1.1. Основные принципы геосистемных аспектов природообустройства осушаемых земель

Любая научная дисциплина имеет свой набор *дефиниций* (краеугольных понятий) и основополагающих идей – *парадигм*. У агрогеографии имеется собственный объект исследования – *агрогеосистема*, которая является и одной из основных дефиниций этого научного направления. Соответственно важнейшей парадигмой агрогеографии выступает всемерное использование **геосистемных принципов** в исследованиях, что подразумевает рассмотрение полученных результатов через призму ландшафтной географии.

Понятие «агрогеосистема», несмотря на частое использование в литературе, находится в процессе становления. Очень часто исследователи, решая чисто агрогеографические задачи, используют вместо АГС понятие «агроэкосистема», не осознавая кардинальных различий между ними. Как экосистемный, так и геосистемный подходы направлены на изучение природных систем, однако экосистемный подход биоцентричен – в центре экосистемы находится сообщество организмов, а все остальные компоненты природы играют подчиненную роль. Так как организмы и их сообщества весьма мобильны в пространстве, вопрос о границах экосистем носит второстепенный характер. Экосистемный подход направлен прежде всего на изучение процессов трансформации вещества и энергии в пределах трофической сети, в то время как абиотический субстрат выступает здесь в роли либо поставщика элементов питания, либо как утилизатор отходов определенного сообщества.

Агроэкосистемный подход применяется в вегетационных опытах, фитотронах и т. д., в то время как результаты любых полевых исследований (даже микроделяночных опытов) уместно рассматривать в агрогеосистемном ключе – то есть при строгом

учете местоположения опыта и связанных с этим ним ландшафтных процессов. Недооценка различий этих подходов приводит к тому, что рекомендации, сделанные на базе абсолютно корректных данных полевых опытов, распространяются на пространства, значительно отличающиеся от них в ландшафтном отношении, что приводит к неверным производственным решениям.

Классическое определение агроэкосистем дано Р.А. Полуэктовым, назвавшим их «...специфическим видом экосистем сельскохозяйственного поля, на котором произрастают сельскохозяйственные растения, обитают другие виды растений и животных и происходит сложная цепь физических и химических трансформаций энергии и вещества» [36, 37]. Границы агроэкосистем либо отсутствуют, либо условны, либо искусственны.

Геосистемный принцип исходит из положения о равноценности для изучения всех компонентов геосистемы, хотя и предполагается, что компоненты природно-территориального комплекса (ПТК) разделяются на основные (горные и почвообразующие породы, рельеф), которые старше ландшафта, и производные (воды, почвенный покров и биота), возникшие в процессе ландшафтогенеза. Принцип равноценности абиотических и биотических компонентов заставляет обращать особое внимание на генезис и динамику ландшафтных границ, так как абиотические компоненты весьма постоянны во времени и пространстве. Этот же принцип заставляет учитывать при анализе результатов исследований местоположение геосистемы в глобальном потоке вещества и энергии. Особенности потоков энергии зависят прежде всего от положения геосистемы в рамках географических координат, а потоков вещества – от преобладания в составе ПТК элювиальных или аккумулятивных ландшафтов.

Термин «агроэкосистема» не связан столь тесно с атрибутами пространства. Так, если можно говорить об экосистеме дождевой капли, острова или содержимого пробирки, то есть понимать под ней как естественное, так и искусственное образование, то агроэкосистема – образование, развивающееся на естественно сложившемся базисе в пределах естественных границ.

Понятие «агроэкосистема» уместно употреблять при изучении процессов, протекающих безотносительно от их пространственных проявлений (например, трансформация микрофлоры субстрата при внесении элементов питания). Если же мы изучаем

трансформацию микрофлоры конкретной почвы, расположенной в определенном месте и ареал которой имеет четкие границы, то неизбежно оказываемся в русле агрогеосистемного подхода, так как при объяснении полученных результатов необходимо будет учитывать процессы, протекающие в этом местоположении и его окрестностях.

По-видимому, первым подробную трактовку термина «агрогеосистема» предложил А.И. Голованов, который понимает под ней «...природно-техническую ресурсо-воспроизводящую и средообразующую гео(эко)систему, она служит объектом сельскохозяйственной деятельности и одновременно средой обитания культурных растений, домашних животных и человека» [3]. Ценность данного определения проявляется в отражении двойственности природы этого образования. Его недостатком, как и многих других, является недооценка автором влияния пространства на сельскохозяйственное производство. Вследствие этого наблюдается явная эклектичность коренного термина в определении (гео(эко)система), то есть здесь смешиваются безразмерные (эко-система) и пространственно детерминированные (геосистема) понятия.

Термин «агрогеосистема» в общем смысле часто используется как синоним слова «агроландшафт». На наш взгляд, агроландшафт – довольно узкое понятие, он является агрогеосистемой конкретного иерархического уровня. В нашей типизации АГС название «агроландшафт» присвоено одному из ее таксонов [8, 9, 15, 20].

Смешение экосистемного и геосистемного подходов наблюдается и при разработке основных принципов антропогенного ландшафтоведения. Характерным примером является классификация антропогенных ландшафтов Ф.Н. Милькова [28], рассмотренная выше. Следует отметить и другой, «модификационный» подход к определению термина «агроландшафт», который обоснован в работах В.И. Прокаева [39], В.А. Николаева [31, 32] и других географов.

Сравнивая два подхода к антропогенному ландшафтоведению, можно отметить, что модификации Прокаева близки к подклассам ландшафтов Милькова, однако, по Прокаеву, модификации не являются самостоятельными типологическими и хорологическими единицами – они входят в состав антропогенно-

измененных геосистем. Можно сказать, что антропогенно-измененные геосистемы, в пределах которых преобладают сельскохозяйственные модификации, и являются агрогеосистемами.

Антропогенные процессы, протекающие в пределах АГС, развиваются на фоне естественных явлений, трансформируя их. Степень трансформации модификаций указывает на соотношение антропогенной и естественной составляющей в метаболизме АГС. Исследование агроландшафтных процессов требует нахождения природных аналогов агрогеосистем, которые являются их естественными контрольными вариантами.

Итак, под агрогеосистемой мы понимаем антропогенно-преобразованную геосистему, в пределах которой господствуют ее сельскохозяйственные модификации, характеризующуюся не только условиями природной среды обрамляющего ее геокмплекса конкретного иерархического уровня, но и агроприродными особенностями ведения в его пределах сельскохозяйственного производства. Данное определение описывает производные геокмплексы, Подобная трактовка агрогеосистемы позволяет определить ее границы и иерархический статус, что дает возможность корректно планировать мероприятия по ее сельскохозяйственной эксплуатации. Агрогеосистема, развивающаяся на базе конкретной морфологической части ландшафта (например, урочища) может быть названа морфологической, тогда как любая АГС, обрамляемая границами геосистемы более сложной, чем ландшафт, может быть названа таксономической.

Главная особенность любой АГС – единство происхождения ее территории (генетическое единство). Это не означает отсутствия вариабельности условий природной среды в ее пределах. Генетическое единство обуславливает: во-первых, единую причину происхождения данной территории (например, процесс таяния ледника или отложения тонковзвешенных частиц на дне водоема и т. п.) и, во-вторых, системное единство всех входящих в нее разнообразных частей и компонентов.

Агрогеосистема – краеугольное понятие агрогеографии, имеет целый ряд специфических свойств (атрибутов), присущих только этой дефиниции. Прежде всего следует отметить ее сложное строение – агрогеосистема состоит из базового (нижнего) и модификационного (надстроечного) ярусов. Базовый ярус включает в себя ведущие компоненты геосистемы – горные и почво-

образующие породы, рельеф. Границами соседних одноуровневых АГС являются естественные ландшафтные рубежи, разделяющие их базовые ярусы.

Модификационный ярус образован в основном производными компонентами ландшафта: почвами и биотой. Кроме антропогенных модификаций, в его пределы входят биоценозы (как наземные, так и водные), расположенные в пределах данной АГС. Иными словами, модификационный ярус АГС образован всей совокупностью агро- и биоценозов, а также селитебных и инфраструктурных модификаций, расположенных в пределах конкретной геосистемы (рис. 1.1).

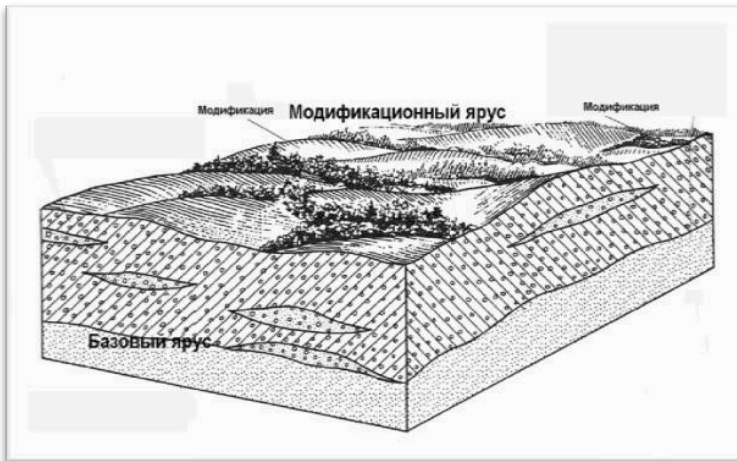


Рис. 1.1. Общее устройство агрогеосистемы

Все составные части АГС образуют системное единство – они связаны единым потоком миграции атомов и находятся в единой системе трансформации вещества и энергии, что приводит к необходимости изучения взаимосвязей между ними. В связи с этим возникает насущный практический интерес к давно существующей теоретической проблеме соотношения основных территориальных единиц различных наук о земле – географии, экологии, биогеоценологии, геоботаники и др. [2, 40, 42, 43]. Достаточно полный анализ этого вопроса проведен в работе А.Ф. Зубкова [6], где он показал целый спектр взглядов на эту проблему. Следует признать, что в настоящее время она до конца не решена, что существенно затрудняет работу практиков.

Принятие геосистемной парадигмы подразумевает, что важнейшим атрибутом АГС является ее пространственная детерминация, отраженная в системе границ. Следует различать генезис границ различных ярусов агрогеосистем. Рубежами морфологических агрогеосистем являются линии разграничения соседних базовых ярусов. Они носят комплексный (компромиссный) характер, так как рубежи смены горных пород, генетических типов рельефа и водосборных бассейнов не всегда совпадают. Особое свойство границ базовых ярусов этих АГС – их относительное постоянство во времени и пространстве.

Границы в пределах модификационного яруса морфологических АГС, разделяя различные модификации, биоценозы и разнообразие образования внутри них, носят многофакторный характер. Они зависят как от естественных, так и от антропогенных причин, среди которых большое значение имеют экономические и социальные. Границы эти, как правило, непостоянны в пространстве и во времени и изменяются под воздействием многих обстоятельств [1].

Границы таксономических АГС, по мере увеличения их иерархического статуса, все более зависят от постепенных пространственных изменений биоклиматических факторов, что превращает их в переходные зоны различной ширины.

Исследование характера залегания и изменчивости агрогеосистемных границ является основным вопросом агроландшафтоведения. Грамотное его решение позволяет определить генезис агроареалов и, на основе полученных знаний, разработать мероприятия по оптимизации, в их пределах, продукционного процесса культур. Инструментом определения базовых границ АГС служит адекватная схема их районирования, а основной способ изучения динамики модификационных границ – исследование адаптивных реакций совокупности растений одного вида на условия ландшафтной среды

Последний тезис показывает, что второй парадигмой агрогеографии является «фитоцентрический» подход к исследованию агроландшафтных закономерностей и трактовке полученных результатов. Это означает, что, исповедуя равенство всех компонентов ландшафта, агрогеография, учитывая, что культурная растительность представляет собой основной объект и цель сельскохозяйственного производства, прежде всего изучает поведение

совокупностей растений в пределах геосистемы, тем самым осуществляя диалектическое единство между экосистемным и геосистемным подходами. Изучение всех остальных компонентов АГС подчинено выяснению вопросов их влияния на продукционный процесс. Сущность фитоцентрической парадигмы заключается в том, что все исследования агроландшафтоведов направлены на изучение адаптивных реакций популяций растений на изменение ландшафтных условий.

Термин «адаптивные реакции растения» впервые введен А.А. Жученко. Он рассматривает адаптивные реакции как «...главный механизм приспособления растения к условиям окружающей среды...» и определяет их как «...способности вида к приспособлению в онтогенезе, воспроизведению в генотипической изменчивости» [5]. В агрогеографии под адаптивными реакциями растений понимается пространственная или временная вариабельность основных показателей их жизнедеятельности в условиях изменения параметров окружающей среды [20]. Эта вариабельность – следствие постоянной трансформации параметров ландшафтной среды и не всегда способствует изменению генотипа растения. Такие адаптивные реакции можно назвать фенотипическими. Главным, с производственной точки зрения, показателем жизнедеятельности популяции сельскохозяйственных растений является урожай. Однако в агроландшафтоведении изучаются и другие проявления жизнедеятельности растений – вариабельность их разнообразных биометрических характеристик, времени наступления фенофаз, качества урожая и т. д.

Результат изучения адаптивных реакций растений – определение характера и границ агроэкологически-однотипных территорий (АОТ). АОТ – одна из основных дефиниций агрогеографии. Этот термин также впервые введен А.А. Жученко и, в его трактовке, является чисто геосистемным понятием. Под агроэкологически-однотипными территориями ученый понимает «...пространства, объединяющие сравнительно однородные по геоморфологии, литологии, типу почвы, гидрологическому режиму, климату (микроклимату) и другим показателям зоны, районы, массивы земель или производственные участки» [5].

При разработке этого понятия применительно к агрогеографической практике надо исходить из положения о том, что АОТ является неотъемлемым атрибутом фитоцентрической пара-

дигмы и поэтому может быть определена как пространство с однородными проявлениями адаптивных реакций совокупности растений одного вида, расположенное в пределах конкретной агрогеосистемы. Следует отметить, что АОТ являются образованиями, полностью принадлежащими к модификационному ярусу АГС, и обладают его основными характеристиками – полигенетичностью границ и их динамичностью в пространстве и во времени.

Нами выделяются три типа АОТ [10].

Пространственно-гомогенные, характеризующиеся статистически однородным фоном урожайности или других свойств совокупности растений одного вида. Они отражают закономерности пространственного изменения характеристики посевов. Результаты изучения их многолетней динамики позволяют разрабатывать более корректные мероприятия по нарезанию границ севооборотов, угодий и отдельных полей (рис. 1.2).

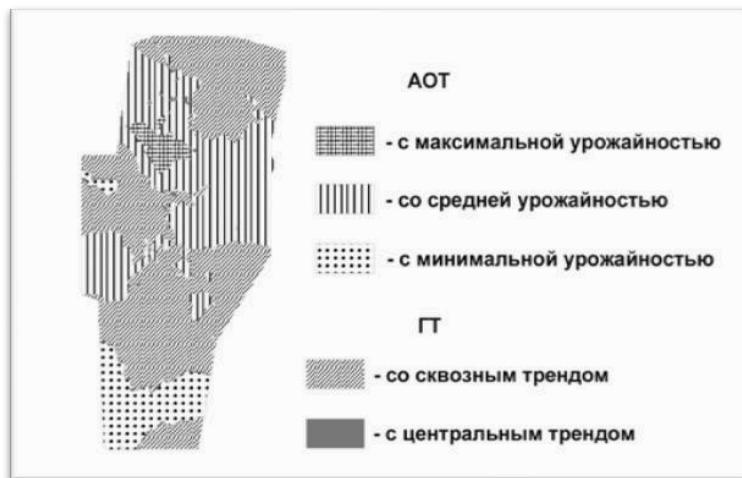


Рис. 1.2. Карта топографии посева ячменя сорта «Абава» в пределах стационара ВНИИМЗ – расположение пространственно-гомогенных АОТ и градиентных территорий (ГТ)

Динамически-гомогенные АОТ, в пределах которых временная динамика варибельности урожая или другого показателя состояния совокупности растений однотипна. Границы этих ареалов достаточно устойчивы, так как отображают характер многолетней динамики. Особенности этих АОТ показывают за-

кономерности пространственно-временного изменения состояния растений. Их учет крайне важен для разработки прогнозов урожайности и состояния посевов (рис. 1.3).

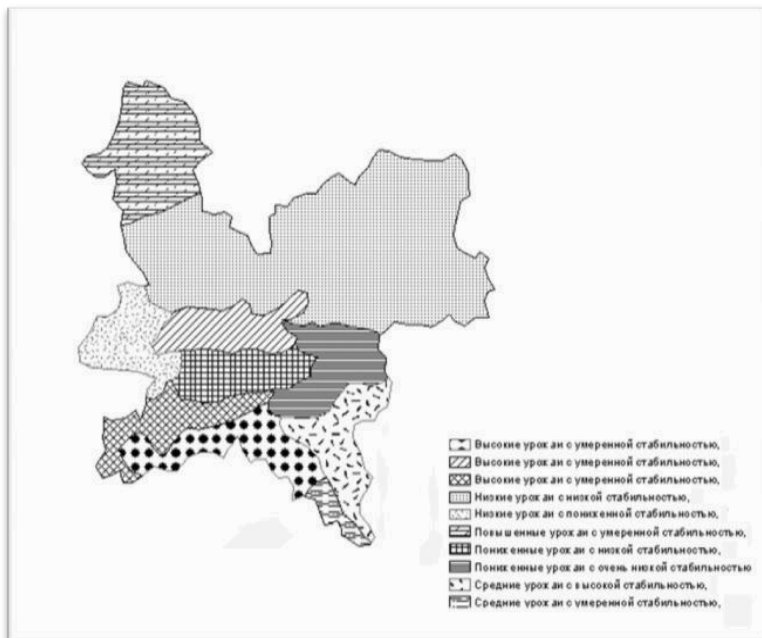


Рис. 1.3. Расположение динамически-гомогенных АОТ продуктивности озимой ржи в пределах Кировской области [90]

Процессно-гомогенные, характеризующиеся однотипностью влияния на урожайность или иную характеристику совокупности растений факторов ландшафтной среды. Выявление АОТ этого типа на местности крайне важно для разработки комплекса мероприятий по оптимизации производственного процесса, особенно в режиме точного земледелия (рис. 1.4).

Пространственно-гомогенные АОТ представляют собой ареалы на карте, заключенные в пределах одной изолинии. Критериями их выделения являются интервалы между изолиниями урожайности или другого показателя жизнедеятельности растений. Они могут быть различными (величина наименьшей существенной разницы (НСР), стандартного отклонения и т. д.), однако это всегда определенный, заданный исследователем параметр, за

пределы которого не выходят показатели всех точек опробования, принадлежащих к одной АОТ. Минимальную по площади АОТ образуют две соседних точки опробования, в которых изучаемый показатель урожая принадлежит к одному интервалу.

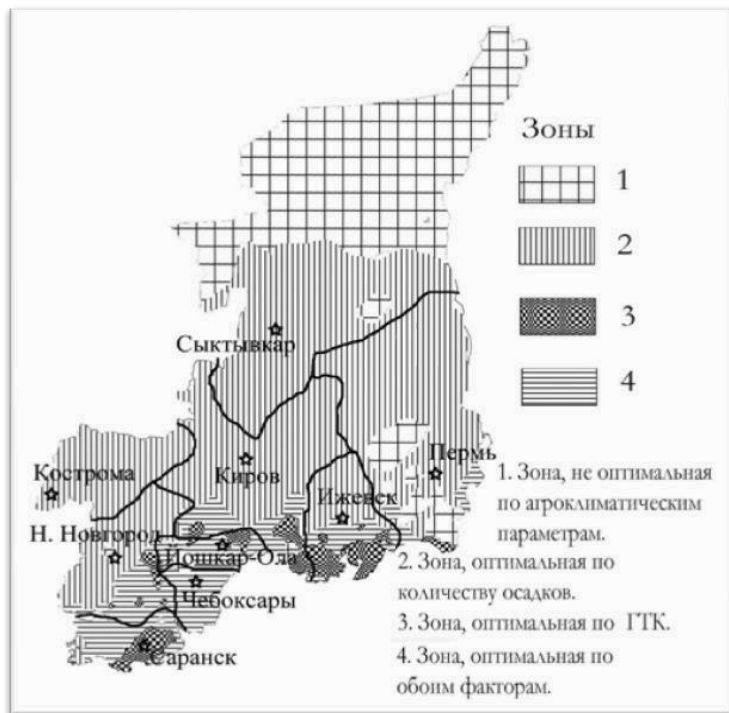


Рис. 1.4. Расположение процессно-гомогенных АОТ урожайности озимой пшеницы в пределах Евро-Северо-Востока РФ

При создании карт на основе интервалов, равных значению НСР, всю совокупность точек опробования разбивают на элементарные группы (блоки), состоящие, по крайней мере, из трех точек. Сгруппированные данные обрабатывают методом однофакторного дисперсионного анализа, определяют НСР конкретного уровня значимости, на основе величины которой и задаются интервалы интерполяции.

Кроме пространственно-гомогенных АОТ, в пределах агрогеосистем выделяются пространственно-неоднородные (градиентные) территории. Градиентная территория – пространство за-

нятое одной культурой, адаптивные реакции которой постепенно однотипно изменяются, что способствует возникновению достоверных различий параметров агроценоза на его противоположных границах. ГТ, как правило, являются переходными зонами между АОТ. Если пространственно-гомогенные АОТ лишены тренда изучаемых свойств, то ГТ, используя понятийный аппарат теории структуры почвенного покрова (СПП) [44], по характеру тренда можно разделить на два типа: 1) с центральным трендом (свойства территории изменяются от центра к периферии); 2) со сквозным трендом (свойства изменяются от одной границы до другой).

Ареалы, осложненные вкраплениями других АОТ или ГТ с центральным трендом, по аналогии с терминами СПП могут быть названы спорадически-пятнистыми АОТ.

Пространственно-гомогенные АОТ и градиентные территории являются необходимыми и достаточными элементами для описания пространственной структуры конкретного параметра агроценоза – создания карты «топографии посева» поля (модификации). «Топография посева» – карта расположения в пространстве сельскохозяйственной модификации статистических поверхностей различного типа. Карта «топографии посева» с помощью ГИС-технологий может быть сопоставлена с картами СПП, распространения сорняков разных видов и т. д., что позволит выявлять структурно-функциональные связи между урожаем и слабоформализуемыми свойствами отдельных компонентов АГС. Карта топографии посева ячменя сорта «Абава» в пределах агроэкологического полигона ВНИИМЗ, интервалы между изолиниями которой равны величине стандартного отклонения, показана на рис. 1.2. Границы АОТ и ГТ, выделенные на основе одного показателя состояния агроценоза (например, урожая), могут не совпадать с границами, определенными по другому показателю (например, длине колоса). Сопоставление границ АОТ и ГТ, выделенных для разных показателей состояния агроценоза, позволит выявить многие особенности формирования урожая в пределах конкретной АГС. Весьма интересен также вопрос сопоставления границ АОТ различных типов.

Третьей парадигмой агрогеографии, которую можно условно назвать «иерархической», является обязательный учет при планировании производственных мероприятий особенностей взаимоотношений АГС различных уровней типизации. Для пра-

вильной адаптации производства необходимо учитывать не только особенности конкретных полей, но и природные условия макротерриторий, в которых они расположены. Главный смысл иерархической парадигмы состоит в учете принципа доминирования условий АГС высокого иерархического уровня над условиями элементарных АГС. Учет принципа доминирования означает создание иерархической схемы моделей ЛМСЗ, состоящей из нескольких соподчиненных уровней. Принцип доминирования нельзя понимать буквально – агрогеосистемы любого уровня обладают известной автономией.

Схема соподчиненности агрогеосистем позволяет адекватно сравнивать характеристики одноуровневых АГС (фации и фации, класса и класса и т. п.), проводить их разнообразные группировки, создавать основу для районирования и разработки разнообразных моделей систем земледелия. Определение схемы соподчиненности АГС, слагающих конкретное поле, необходимо при разработке мероприятий по точному земледелию. Выявив в пределах поля ряд одноуровневых, но генетически различных АГС, следует предположить, что продукционный процесс одной и той же культуры в каждом из ареалов будет зависеть от разного набора факторов. При разработке мероприятий по прецизионному выращиванию культуры необходимо учитывать и явление «инверсии» факторов. Оно выражается в том, что из-за разного масштаба их проявления один и тот же способ статистического анализа выявит разные наборы факторов, влияющих на урожайность в АГС разного уровня (например, на уровне подурочища и входящей в него фации). При решении этой проблемы также используется принцип доминирования.

Деление агрогеосистем на таксономические и морфологические обуславливает разницу и в методике их изучения. Таксономические АГС изучаются в основном методами статистического анализа банка данных, описывающих характеристики их базового и модификационного ярусов. При изучении морфологических АГС, кроме этих подходов, используют методы ландшафтно-полевого опыта, описанные в литературе [33]. Результаты исследований таксономических АГС могут быть использованы при стратегическом планировании сельскохозяйственного производства на больших территориях, определении его основных (рамочных) параметров [20]. При изучении морфологических АГС оп-

ределяют реальные мероприятия по адаптации земледелия к конкретным ландшафтным условиям.

Смысл иерархической парадигмы заключается и в изучении информационных потоков в разноуровневых агротерриториальных образованиях. Согласно кибернетическому закону Эшби [48] информационная емкость систем снижается по мере их упрощения. Нашими исследованиями показано, что при переходе от высоких типизационных уровней к низким закономерно изменяется количество факторов, прямо воздействующих на производственный процесс культур плодосменного севооборота. Установлено, что существуют типизационные уровни, названные нами «узловыми», которые характеризуются максимальным количеством факторов, влияющих на производственный процесс культур. Соответствующие им АГС могут являться базовыми территориями для создания ЛМСЗ, так как в их пределах складываются наиболее удобные условия для управления производственным процессом.

Факторы, влияющие на производственный процесс культур и организацию производства, тяготеют к различным иерархическим уровням АГС. В целях рационального ведения хозяйства необходимо ранжировать мероприятия по степени их «глобальности». Так, основные черты соотношения луга, леса и пашни устанавливаются на уровне агроэкологических разделов, тогда как характер отдельных элементов систем земледелия – на уровне хозяйств. Существуют факторы, названные нами «сквозными», которые воздействуют на производственный процесс культур в пределах нескольких типизационных уровней, в то время как другие жестко привязаны к одной иерархической ступени [8]. Следовательно, для определения полного спектра факторов, достоверно воздействующих на производственный процесс культуры в пределах конкретного хозяйства, необходимо проводить изучение адаптивных реакций совокупностей растений на всех «узловых» уровнях типизации агроэкосистем.

1.2. Типизация и группировка осушаемых земель

Агроландшафтоведение, являясь комплексной сельскохозяйственной наукой, способно решать и общие вопросы природообустройства. Возникновение этого научного направления обусловлено общим вектором развития сельскохозяйственных наук в сторону экологизации, их интеграцией с естественнонаучными

дисциплинами. Районирование агрогеосистем, основывающееся на определенной типизационной схеме, позволяет изображать их на карте и анализировать закономерности их взаиморасположения, что является начальным этапом природообустройства. Схема типизации агрогеосистем (табл. 1.1) разработана на основе учета принципов физико-географического и ландшафтного районирования территории. При ее использовании нет необходимости создавать оригинальную карту территориальных единиц. Все таксоны типизационной схемы совпадают с сеткой границ регионов, выделенных на основе общенаучного физико-географического районирования геосистем.

Принцип создания схемы обусловил зонально-азональную сущность ее региональных (индивидуальных) единиц. Выделяются «узловые» уровни типизации, учет природных особенностей которых необходим для правильной организации сельскохозяйственного производства, и вспомогательные – предназначенные для соблюдения принципа «сквозности» иерархической схемы. Они, являясь связующими звеньями между «узловыми» единицами, играют важную роль при решении определенных прикладных задач. Комплексность типизационной схемы обусловлена набором факторов, использованных при ее разработке. Специфика сельскохозяйственной направленности проявилась в сопоставлении географических таксономических уровней с иерархией почвенно-географических образований. Наименование агрогеосистем, при всей своей условности, отражает специфику характеристики, которая необходима для выполнения конкретных прикладных задач. Привлечение физико-географических наработок для создания приведенной типологической схемы продиктовано необходимостью ее построения на основе генетического принципа. Генетический принцип обуславливает единство происхождения и развития выделенной на его основе территории и, следовательно, единообразное течение основных ландшафтообразующих процессов в ее пределах. Это дает возможность для распространения в ее условиях однотипных сельскохозяйственных мероприятий и рекомендаций.

Преимущество генетического метода состоит и в том, что на его основе возможна оценка степени «генетического родства» различных территорий и, как следствие, разработки мероприятий по переносу параметров систем земледелия с одной территории на другую.

Таблица 1.1

Система таксономических уровней агрогеосистем гумидной зоны

Единицы агроэкологического районирования	Единицы физико-географического районирования	Единицы ландшафтного районирования	Единицы классификации СПП	Характеризующие таксоны классификации СПП
Макроединицы. Система региональных (индивидуальных) единиц				
Агроэкологическая зона	Зона	Ландшафтная зона	Категория СПП	Совокупность формаций СПП
Агроэкологический регион	Зона + подконтинент	Ландшафтная макрообласть	Формация СПП	Совокупность разрядов СПП
Агроэкологический ареал	Сектор + зона + страна	Ландшафтная область	Разряд СПП	Совокупность типовых семейств СПП
Агроэкологический блок	Сектор + подзона + страна	Ландшафтная подобласть		Совокупность подтиповых семейств СПП
Агроэкологический класс	Подсектор + подзона + страна	Ландшафтная макропровинция		Совокупность фациально-подтиповых семейств СПП
Агроэкологический раздел	Подсектор + подзона + край	Ландшафтная провинция		Совокупность родовых семейств СПП
Макроединицы. Система типологических единиц				
Род агроландшафтов	Подокруг	Часть ландшафтного района	Семейство СПП	Совокупность подсемейств СПП
Мезоединицы. Система типологических единиц				
Тип агроландшафтов		Ландшафт	Подсемейство СПП	Совокупность форм СПП
Вид агроландшафтов		Местность	Форма СПП	Совокупность мезокомбинаций СПП
Микроединицы. Система типологических единиц.				
Агроландшафт		Урочище	Мезокомбинация СПП	Совокупность микрокомбинаций СПП
Агромикрорландшафт		Подурочище (фация)	Микрокомбинация СПП	Совокупность ЭПА

Система таксономических уровней агрогеосистем учитывает и особенности их почвенного покрова. Почвенным покровом (ПП) называется почвенно-географическое пространство, образованное чередованием почвенных тел, относящихся к одному уровню классификации почв. Под почвенным покровом крупных регионов понимается закономерное чередование в их пространстве типов почв, в то время как почвенный покров отделения хозяйства образован набором родов и видов одного или нескольких типов почв.

В агрономической практике необходимо учитывать структуру почвенного покрова, представляющую собой закономерное пространственное размещение почв, связанное с литолого-геоморфологическими условиями территории. Первичной ячейкой СПП является элементарный почвенный ареал (ЭПА) – участок территории, занятый одной почвой, относящейся к какой-либо классификационной единице наиболее низкого ранга [43]. По данным Фридланда [44], размеры ЭПА могут изменяться в очень широких пределах. Так, в составе солонцовых комплексов на террасах Заволжья изучены ЭПА площадью в 0,5–0,8 м², в солонцовых комплексах на Ергенях картировались ЭПА площадью в 2–3 м²; средние размеры ЭПА конечно-моренных гряд – 600–800 м²; максимальные по площади ЭПА (несколько тысяч гектаров) были изучены в Черноземной зоне.

В.М. Фридланд, основоположник науки об СПП, выделяет следующие виды ЭПА:

1. Гомогенные – почвенные образования однородные в своих пределах.

2. Спорадически пятнистые – территориальные почвенные образования, имеющие гомогенный почвенный фон, осложненный пятнами предельных структурных элементов (ПСЭ). Если размеры ЭПА практически не ограничены, то площадь ПСЭ может изменяться лишь в определенных, весьма ограниченных пределах. Примеры таких ареалов – пятна подзолистых почв под кронами елей среди дерново-подзолистого фона, пятна зоогенно-перерых почв среди неперерых и т. д. Вследствие ограниченности размеров биологических форм (животных, растений, муравейников и т. д.), создающих ПСЭ, их площадь изменяется в довольно узких пределах. ПСЭ не могут рассматриваться как почвенно-географические объекты. Они представляют собой совместный объект биологии, почвоведения и ландшафтоведения.

3. Регулярно-циклические – характеризуются чередованием почв качественно единых, но резко различающихся по количественным характеристикам; они возникают в результате растрескивания поверхности почвы и вертикального перемещения почвенной массы.

ЭПА, являясь классификационно-однородными образованиями, могут характеризоваться существенными изменениями свойств почвы в своих пределах. Варьирование почвенных свойств в пределах элементарных ареалов имеет, как правило, закономерный характер. ЭПА можно представить как совокупность почвенных индивидуумов (педонов) – микроучастков, обладающих статистически однородным фоном почвенных свойств. Характер чередования педонов в пределах ЭПА (полипедона) обуславливает их деление на две большие группы:

1. ЭПА с центральным трендом являются основными, опорными звеньями почвенного покрова. Для этой группы характерны изменения характеристик почв, направленные от центральной части к границам.

2. ЭПА со сквозным трендом образуют переходные звенья почвенного покрова; генезис и свойства образующих их почв имеют переходный характер между генезисом и свойствами почв опорных ЭПА. Группа характеризуется изменениями свойств, направленными от одной границы до другой.

Совокупность различных ЭПА в пределах конкретной территории образует почвенную комбинацию (ПК). ПК являются основой структуры почвенного покрова. Различаются микрокомбинации и мезокомбинации ПП. Микрокомбинации образованы чередованием ЭПА, характер распределения которых зависит либо от микрорельефа (комплексы, пятнистости), либо от литологической пестроты участка (мозаики, ташеты). Их часто называют элементарными почвенными структурами (ЭПС).

Важным показателем, по которому группируются почвенные комбинации, является контрастность входящих в их состав ЭПА. Под контрастностью почвенного покрова понимается степень различия свойств, состава и плодородия почв в него входящих, то есть степень его качественной и количественной дифференциации.

Контрастные микрокомбинации, образованные микрорельефом, называются комплексами. Характерным примером является чередование выщелоченных черноземов и солодей на ровных

пространствах южной лесостепи. Малоконтрастные микрокомбинации того же генезиса называются пятнистостями. Они наиболее часто встречаются в Нечерноземной зоне в виде чередования дерново-подзолистых почв различной степени заболоченности.

Важно отметить то обстоятельство, что компоненты микроПК очень тесно связаны друг с другом. Причем связь эта двусторонняя. Элементы ПК, занимающие микроповышения, влияют на почвы микродепрессий в процессе поверхностного стока, который переносит материал в виде относительно крупных частиц, взвесей и истинных растворов. Элементы, развивающиеся в микродепрессиях, оказывают влияние на вышележащие позиции в результате миграции истинных растворов с грунтовыми водами.

Контрастные микрокомбинации, возникшие за счет пестроты почвообразующих пород, называются мозаиками. Пример мозаики – чередование серых лесных почв на покровных суглинках и дерново-подзолистых песчаных почв в лесостепной зоне. Неконтрастные литогенные (а также в ряде случаев фитогенные) ПК-ташеты возникают в местах, где пестрота почвообразующих пород обуславливает вариабельность заболачивания, оподзоливания, засоления и т. д. Примером является регулярная смена слабо дифференцированных песчаных и дерново-среднеподзолистых супесчаных почв в лесах Нечерноземья.

В ташетах и мозаиках связи между компонентами ПК очень слабы.

Мезокомбинации почвенного покрова характеризуются односторонней связью своих компонентов, так как образованы мезорельефом. Среди них выделяются следующие классы:

1. Сочетания – контрастные почвенные комбинации, образованные закономерной сменой крупных ареалов почв (ЭПА или ЭПС) в пределах формы мезорельефа. При этом почвы пониженных элементов рельефа находятся под влиянием почв более высоких участков в связи с перемещением веществ с поверхностными и грунтовыми водами. Сочетания, образованные сменой ЭПА, называются простыми и встречаются довольно редко. Сложное сочетание образовано закономерной сменой ЭПС либо ЭПС и ЭПА. Примером сочетания может быть ряд почв – от дерново-слабоподзолистой, слабо дифференцированной под сосновым лесом, растущим на вершине песчаной дюны, до мощного торфяника у ее подножья. При этом почвы на вершине холма яв-

ляются автономными (независимыми) членами ПК, а почвы склонов и подножий – подчиненными.

2. Вариации – малоконтрастные мезокомбинации, образованные закономерной сменой почвенных тел в пределах катены. Пример вариации – ряд почв – от дерново-подзолистой глееватой на вершине холма до дерново-подзолистой глеевой у подножья.

Следует отметить, что почвенные мезокомбинации в географическом смысле называются урочищами.

Сложность, или пестрота, почвенного покрова характеризуется частотой смены почвенных ареалов. Она зависит от площади ЭПА и от формы их контуров. Существуют различные способы характеристики сложности ПП. В.М. Фридланд предложил определять ее числом пересечений почвенных границ на карте на единицу длины линии, пересекающей изучаемую территорию. Можно оценивать сложность ПП по количеству контуров на 100 га площади [11]. Существуют и более трудоемкие методы определения сложности ПП.

Сложность и контрастность ПП в совокупности характеризуют неоднородность почвенного покрова. Неоднородность ПП непостоянна – она изменяется под воздействием природных и антропогенных факторов. Почвенный покров, являясь результатом взаимодействия всех компонентов ландшафта, трансформируется при изменении любого из них. Наиболее существенную трансформацию вызывает антропогенная деятельность, в результате которой естественная СПП переходит в новое качество.

При типизации агрогеосистем применяются основные единицы классификации СПП [44]: категории – территории с ведущей ролью либо мезо-, либо микроструктур СПП, которые делятся на формации, различающиеся ведущими в образовании СПП классами комбинаций (комплексов, сочетаний и т. д.). Формации делятся на разряды, определяемые свойствами, дифференцирующими ПП, например, по степени увлажнения или засоления почв. В пределах разряда выделяют семейства СПП по господствующим компонентам ПП. Выделяют типовые семейства – по господствующим типам почв, подтиповые семейства – по господствующим подтипам и т.д. В пределах семейства выделяют подсемейства на основе анализа количественного соотношения компонентов ПП. Подсемейства делятся на формы, различающиеся на основе генетико-геометрического строения ПП, его сложности (пятнистые, древовидные, струйчатые и т. п.).

Наиболее полно разработанные типизации геосистем состоят из трех отделов: макро-, мезо-, и микроединиц. Макроединицы типизации, занимая громадные территории, обособляются друг от друга, прежде всего на основе различий по биоклиматическим параметрам.

Велико значение при выделении макроединицы и особенностей литогенной основы геоконплекса – основных черт рельефа, направленности неотектонических движений земной коры. Важное свойство макроединиц – преобладание в их облике индивидуальных, неповторимых черт природы (что позволяет называть их региональными или индивидуальными единицами), в то время как сходные (типологические) черты носят подчиненный характер. Например, Валдайская возвышенность как уникальное сочетание горных пород, рельефа, климата, почв и растительности на земном шаре больше нигде не встречается, хотя в ее облике и строении имеются схожие черты со Среднерусской возвышенностью, Северными Увалами, Мугоджарами в Казахстане, Швиотскими холмами в Англии, горами Аbruцци в Италии и т. д.

Высшим таксономическим уровнем типизации агрогеосистем является агроэкологическая зона, территориально и по смыслу совпадающая с физико-географической и ландшафтной зоной (табл. 1.1). Выделение агроэкологических регионов происходит при совмещении карт высших тектогенных и зональных единиц – подконтинентов и зон. Агроэкологический ареал располагается в пространстве физико-географической страны, ограниченном одним климатическим сектором. На основе различий по биоклиматическим характеристикам агроэкологические ареалы разделяются на агроэкологические блоки, различающиеся по зональному подтипу растительности. Агроэкологические классы в пределах одного блока отличаются друг от друга рядом агроклиматических характеристик (прежде всего годовыми амплитудами температуры), что отражается на проявлении многих зональных черт растительности (рис. 1.5).

Классы делятся на агроэкологические разделы – территориальные единицы, границы которых выявляются при наложении рубежей природной подзоны (например, северной лесостепи) на сетку границ ландшафтных провинций. Роды агроландшафтов не обладают, в отличие от описанных агрогеосистем, монолитными ареалами. Характерные черты их природной среды обусловлены

гранулометрическим составом почвообразующих пород. Они, как и все типологические единицы, объединяются во внетаксономические совокупности, называемые группами [38] (рис. 1.6).

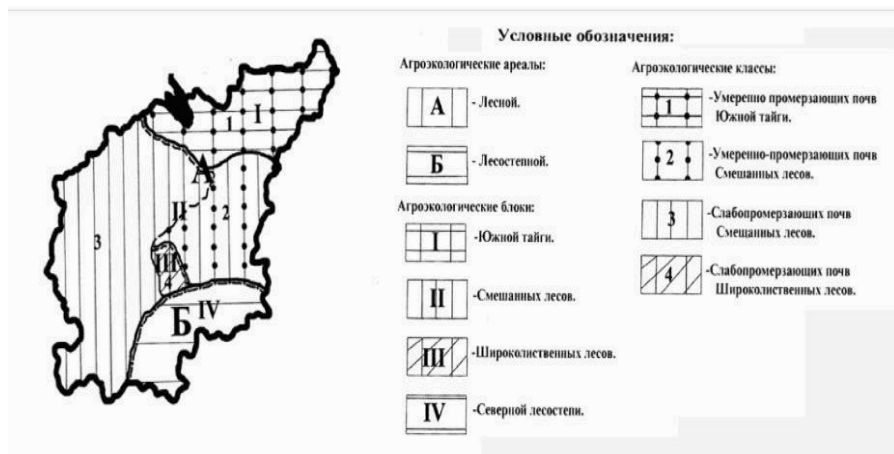


Рис. 1.5. Расположение высших таксономических АГС в пределах Центрального экономического района РФ



Рис. 1.6. Карта расположения родов агроландшафтов в пределах Центрального экономического района РФ

Узловой макроединицей типизации агрогеосистем, разработанной нами, является агроэкологический раздел – территория, в большинстве случаев пространственно совпадающая с ландшафтной провинцией. Агроэкологический раздел (АР) является основной макроединицей типизации агроландшафтов вследствие относительно небольших размеров, обуславливающих значительную однородность агроэкологических параметров в его пределах и резко выраженных индивидуальных черт, определяющих отличие одного АР от другого. В пределах типичной области центральной России располагается от 1 до 5 агроэкологических разделов. Учет их особенностей необходим при создании адаптивно-ландшафтной системы земледелия любой крупной административной единицы (рис. 1.7).

НОМЕРА АР:

- 1 - Северные Увалы южной тайги; 2 - Ветлужско-Угличский южной тайги;
- 3 - Верхневолжский южной тайги; 4 - Верхневолжский смешанных лесов;
- 5 - Валдайский смешанных лесов; 6 - Мещерский смешанных лесов;
- 7 - Смоленско-Московский смешанных лесов; 8 - Среднерусский широколиственных лесов 9 - Днепро-Деснинский смешанных лесов; 10 - Мезенско-Двинской средней тайги; 11 - Северные Увалы средней тайги; 12 - Ветлужско-Угличский смешанных лесов; 13 - Вятско-Камский южной тайги; 14 - Вятско-Камский смешанных лесов; 15 - Тиманский средней тайги; 16 - Печерский средней тайги; 17 - Северо-Приволжский смешанных лесов; 18 - Приволжский северной лесостепи; 19 - Северо-Приволжский широколиственных лесов;
- 20 - Уфимско-Сызвенский смешанных лесов; 21 - Уфимско-Сызвенский южной тайги; 22 - Вятско-Камский средней тайги; 23 - Окско-Донской северной лесостепи; 24 - Мезенско-Двинской северной тайги; 25 - Тиманский северной тайги; 26 - Печерский северной тайги; 27 - Печерский крайнесеверотаяжный; 28 - Тиманский крайнесеверотаяжный; 29 - Лесотундра; 30 - Горные территории.

НОМЕРА АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЕДИНИЦ:

- I - Тверская область; II - Ярославская область; III - Костромская область;
- IV - Кировская область; V - Смоленская область; VI - Калужская область;
- VII - Ивановская область; VIII - Рязанская область; IX - Московская область;
- X - Брянская область; XI - Орловская область; XII - Тульская область; XIII - Нижегородская область;
- XIV - республика Коми; XV - Владимирская область; XVI - Пермская область;
- XVII - республика Удмуртия; XVIII - республика Марий-Эл; XIX - Чувашская республика; XX - республика Мордовия.

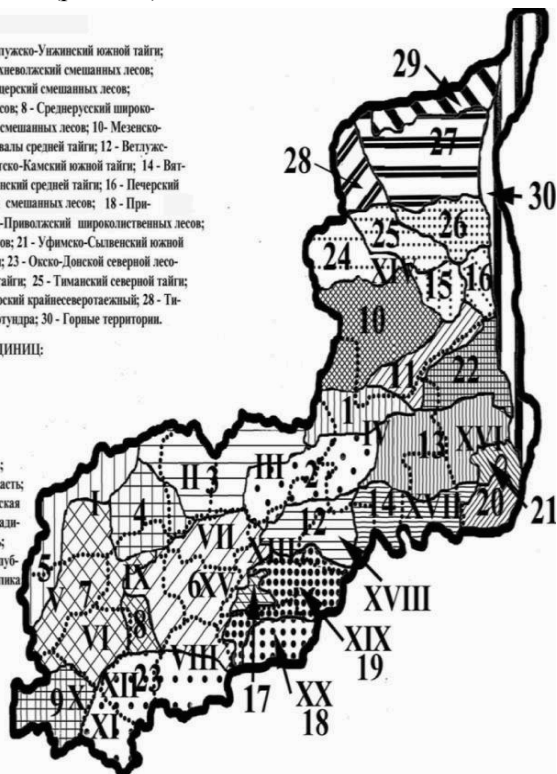


Рис. 1.7. Расположение агроэкологических разделов в пределах Центрального и Волго-Вятского экономических районов РФ

Характер мезоединиц типизации в большей степени определяется рельефно-литологическими особенностями территории. Они значительно мельче региональных, являются их составными частями и обладают менее выраженными индивидуальными чертами. Так, конечно-моренные гряды встречаются не только в Европейской части России, но и в Канаде, Швеции, Англии и т. д. При этом основные особенности их природы весьма сходны и определяются прежде всего временем их происхождения. Это обстоятельство позволяет называть мезоединицы типологическими образованиями. Анализ их агроэкологических параметров служит в значительной степени уточнению ранее определенных производственных показателей и введению новых. На основании общего набора культур разрабатываются усредненные параметры структуры посевных площадей; в рамках общего направления агромелиоративных мероприятий определяются их набор и способы реализации и т. д.

Агроэкологические разделы слагаются достаточно однородными природно-территориальными мезокомплексами, которые мы называем типами агроландшафтов. Тип агроландшафтов – агрогеосистема, характеризующаяся генетическим единством литогенной основы (горных пород и рельефа).

Условия происхождения (генезиса) и развития типа агроландшафтов во многом определяет продуктивность севооборотов, систему обработки почв, систему удобрений и защиты растений. Так, весьма слабое прямое влияние агроландшафтных условий на продуктивность культур плодосменного севооборота наблюдается в пределах относительно однородных озерно-ледниковых равнин. В пределах неоднородных по рельефу и характеру почвообразующих пород конечно-моренных и моренных ландшафтов отмечается большая зависимость урожайности культур от прямого воздействия комплекса агроэкологических условий. Однако наиболее тесная связь продуктивности культур и параметров ландшафтной среды наблюдается в пределах песчаных равнин с относительно однородным чехлом отложений. При условии двучленности почвообразующих пород есть большое количество активных и потенциальных факторов, влияющих на продукционный процесс, тогда как наличие вертикальной геологической однородности почвенного профиля способствует уменьшению количества факторов прямого действия. Схема расположения основ-

ных групп типов агроландшафтов в пределах Рязанской области показана на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Расположение типов агроландшафтов в пределах Рязанской области [2]

На микроуровне типизации агроландшафтов выделяются две узловые единицы – агроландшафт и агромикрорландшафт – основные морфологические АГС.

Агроландшафт – основная территориальная единица, выделяемая при ландшафтно-сельскохозяйственном картировании конкретных предприятий. В большинстве случаев он представлен формой мезорельефа – отдельным холмом, террасой реки, широкой балкой и прочим и в основном территориально совпадает с урочищем. Основная особенность агроландшафта – его автономность, относительная независимость от других агроландшафтов. Это выражается в том, что антропогенное воздействие в пределах одного холма, как правило, не влияет на компоненты другого.

Так, внесение значительных доз извести на поле, расположенном на вершине одного холма, очевидно, не приведет к изменению плодородия почв на вершине другого.

Если агроландшафты отличаются заметной автономностью, то слагающие их агромикрорландшафты (АМЛ), как правило, зависят от своего положения в пределах формы мезорельефа. АМЛ обычно занимают либо часть формы мезорельефа (днище балки, вершину холма, склон холма и т. д.), либо форму микрорельефа (обширное блюдцеобразное понижение на поле, постоянную микропромоину и т. д.) и территориально совпадают с фациями или подурочищами. Характер перемещения вещества и энергии в пределах агроландшафта будет освещен ниже, здесь же укажем, что существуют АМЛ с отрицательным, нейтральным и положительным балансом вещества. Агроном, планируя мероприятия для конкретного поля, должен, опираясь на принцип геосистемной парадигмы, четко знать природные условия АМЛ, в котором оно расположено, во избежание потерь средств и времени в результате нерациональных мероприятий.

В настоящее время имеется немало агроэкологических типизаций земель. Следует отметить систему агроэкологической типизации и ландшафтно-экологическую классификацию земель, разработанную В.И. Кирюшиным [14] на основе работ Л.Г. Раменского, В.М. Фридланда, К.В. Зворыкина, Г.С. Гриня, Я.М. Гodelьмана и других.

В основу его типизации положен агроэкологический тип земель – территория однородная по условиям возделывания сельскохозяйственных культур. В качестве первичного структурного элемента для выделения типов В.И. Кирюшин предложил элементарный ареал агроландшафта (ЭАА), под которым понимается «участок на элементе мезорельефа, ограниченный элементарным почвенным ареалом или элементарной почвенной структурой, при одинаковых геологических, литологических и микроклиматических условиях». ЭАА примерно соответствует фации, но может быть крупнее ее, поскольку может включать несколько почвенных разностей, представляющих собой элементарную почвенную структуру. Ландшафтно-экологическая классификация земель, по В.И. Кирюшину, имеет следующее построение: агроэкологическая группа (ландшафты плакорные, эрозионные, переувлажненные, солонцовые); агроэкологическая подгруппа

(по степени проявления лимитирующих факторов), разряды I порядка (местоположение по абсолютным высотам над уровнем моря), разряды II порядка (по морфологическим типам рельефа) классы (по генезису почвообразующих пород), подклассы (по гранулометрическому составу почвообразующих пород), роды (по мезоформам рельефа), подроды (по крутизне склона и по экспозиции склона), виды (по элементарным почвенным структурам), подвиды (по контрастности и сложности ЭПС).

Лимитирующие факторы возделывания сельскохозяйственных культур данной классификации разделяются на четыре группы: управляемые (обеспеченность почв элементами минерального питания); регулируемые (реакция среды, окислительно-восстановительное состояние, содержание обменного натрия, мощность пахотного слоя и др.); ограниченно регулируемые (неоднородность почвенного покрова, связанная с микрорельефом, сложение, структурное состояние, водный и тепловой режимы, содержание гумуса и др.); нерегулируемые (гранулометрический состав, глубина залегания коренных пород, рельеф, погодные условия и т. д.)

В соответствии с характером лимитирующих факторов и набором мероприятий по их преодолению типы земель ранжируются по шести категориям.

I категория. Земли, пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур без особых ограничений, за исключением управляемых факторов.

II категория. Земли, пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур с ограничениями, которые могут быть преодолены простыми агротехническими, мелиоративными и противоэрозионными мероприятиями. Они делятся на две группы: 1) с ограничениями, преодолеваемыми простыми агротехническими и мелиоративными мероприятиями (известкование, углубление пахотного слоя, уборка камней и др.); 2) с ограничениями, преодолеваемыми с помощью агротехнических мелиораций и противоэрозионных мероприятий (почвозащитные системы земледелия, глубокое рыхление и др.).

III категория. Земли, пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур с ограничениями, которые могут быть преодолены среднетратными гидротехническими, химическими, лесомелиоративными и комплексными мелиорациями. Они

делятся на три группы: 1) переувлажненные земли, которые могут быть улучшены простыми дренажными системами; 2) земли, требующие затратных, агротехнических, химических, комбинированных мелиораций (мелиоративные обработки и химические мелиорации); 3) земли, требующие противоэрозионных, гидротехнических и лесомелиоративных мероприятий при контурной организации территории.

IV категория. Земли, малопригодные для возделывания сельскохозяйственных культур вследствие неустранимых ограничений по условиям литологии почвообразующих пород (маломощные почвы с близким залеганием коренных пород).

V категория. Земли, потенциально пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур после сложных гидротехнических мелиораций (болотные, солончаки, такыры и др.).

VI категория. Земли, непригодные для возделывания сельскохозяйственных культур из-за неустранимых ограничений и очень низких возможностей адаптации. Эти земли предполагается классифицировать далее по условиям использования под пастбища, лесные угодья и для других целей.

Агроэкологические типы земель формируются путем объединения ЭАА, отвечающих требованиям возделывания определенной культуры или группы культур. Для этого агроэкологические требования культур сопоставляют с характеристиками ЭАА (микроклимат, рельеф, грунтовые воды, свойства почв и др.). При соответствии требований культур и характеристик ЭАА его относят к первой категории земель, не имеющих экологических ограничений, за исключением управляемых факторов. Если ЭАА не удовлетворяет культуры по каким-либо показателям, то его относят к соответствующим последующим категориям. В первую очередь выделяют агроэкологические типы земель для наиболее требовательных к почвенно-экологическим условиям культур (плодовые, овощные, виноградники и др.), для севооборотов с наиболее требовательными полевыми культурами (сахарная свекла, кукуруза, картофель и др.), далее по возрастающей устойчивости к лимитирующим факторам для севооборотов с менее требовательными культурами, многолетних сенокосов и пастбищ. При этом учитывается уровень интенсификации производства и предусматривается предотвращение процессов деградации агроландшафтов.

1.3. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия

Прикладное использование результатов изучения адаптивных реакций растений выражается в разработке систем земледелия, в наибольшей степени использующих «даровые» силы природы. Одним из путей предотвращения дальнейшего разрушения биосферы и рекультивации нарушенных земель является разработка адаптивно-ландшафтных систем земледелия АЛСЗ, частным случаем которых являются ландшафтно-мелиоративные системы земледелия, – комплексов мероприятий, направленных на эффективное использование совокупности природных и производственных ресурсов агрогеосистем с целью получения высоких и стабильных урожаев и повышения экологической устойчивости природной среды. Процесс разработки ЛМСЗ включает в себя глубокий анализ природной, экономической и конъюнктурной ситуации изучаемой территории на основе применения новейших методологических подходов (ГИС-технологий, геостатистики, математического и экономико-статистического моделирования). Он позволяет разработать уникальный комплекс элементов систем земледелия для каждого конкретного хозяйства и максимально адаптировать новейшие (прецизионные) технологии выращивания культур к природно-экономическим условиям хозяйства. ЛМСЗ является синтезом новейших достижений российских географов, экологов, агрономов и мелиораторов в области оптимизации производства сельскохозяйственной продукции и охраны окружающей среды. Организация хозяйств на принципах учета особенностей ландшафтов позволяет снизить себестоимость продукции и затраты на рекультивацию ландшафта, учесть экологические нормативы и требования рынка, повысить эстетическую привлекательность окружающих пейзажей.

Методологическую основу процесса создания ЛМСЗ составляет моделирование производственного процесса при всемерном учете особенностей ландшафтной среды территории и адаптивных реакций на них растений. Исследования показали, что при создании ЛМСЗ, направленных при выращивании культур на оптимизацию управляемых и учет неуправляемых факторов природной среды, необходимо исходить из экологических особенностей различных ландшафтных иерархических уровней. Осуществление такого иерархического подхода возможно только

при теоретическом обосновании принципов ЛМСЗ на уровне макротерриторий и практической их конкретизации в условиях агроэкологического стационара или хозяйства на микроуровне. Центральным моментом ландшафтной адаптации сельскохозяйственного производства является разработка разнообразных моделей ЛМСЗ для условий агрогеосистем различных иерархических уровней.

Для учета иерархического (многоуровневого) строения ландшафтной сферы используются четыре типа ЛМСЗ, три из которых разрабатываются на уровне моделей:

1. ЛМСЗ, разрабатываемые на основе учета природных и агропроизводственных условий агроэкологических разделов, называются региональными системами земледелия (РСЗ). Они описывают самые общие подходы к адаптации сельскохозяйственного производства к ландшафтным условиям сравнительно однородных крупных территорий.

2. Базовые модели ЛМСЗ – гипотетические, ландшафтно-адаптированные системы земледелия, разрабатываемые при использовании усредненных параметров основных генетических типов агроландшафтов, мозаичное чередование которых образует облик крупнейших географических регионов (например, Русской равнины, Скандинавии, Канадского щита и т. д.).

3. Типовые модели ЛМСЗ – системы земледелия, получаемые при макро дифференциации базовых моделей. Они учитывают условия природной среды генетических типов территорий, слагающих конкретный агроэкологический раздел.

4. Системы земледелия конкретных хозяйств, разрабатываемые на основе методики переноса (микро дифференциации) параметров типовых моделей в их условия.

Для оптимального использования агрогеосистем человеком необходимо их всестороннее изучение. Основной вид исследований в агрогеографии – изучение адаптивных реакций растений на пространственную и временную вариабельность ландшафтной обстановки. Но агроландшафтоведы проводят изучение и других компонентов АГС с целью выявления их влияния на произрастание растений и эволюции при антропогенном воздействии.

Методологической основой изучения процессов функционирования агрогеосистем является повсеместный учет их системного характера. На практике это означает, что любую АГС можно

одновременно представить и как совокупность более мелких образований, и как часть более крупной системы. Вследствие этого точки опробования (элементарные объекты исследования), находящиеся в пределах конкретной АГС, могут быть объединены в разнообразные группы, в то время как эта же АГС может рассматриваться как «ключевой» участок в пределах более крупной территории.

Все агрогеосистемы разделены на два типа – таксономические и морфологические. Способы их изучения также различаются, однако начальный этап изучения АГС любого типа состоит из создания банка данных.

Банк данных для изучения процессов функционирования АГС любого типа должен включать в себя описание характеристик ее агроландшафтной среды в точках опробования. Точка опробования – элементарный объект исследования, в пределах которой дается полная характеристика индивидуального вертикального профиля АГС. Природные условия конкретной АГС описываются на основе характеристики совокупности точек опробования, количество которых должно быть не менее трех. В каждой точке опробования должны быть описаны все компоненты ПТК и их атрибуты. Точки опробования должны, по возможности, равномерно распределяться в пространстве АГС. Описания и исследования во всех точках опробования производятся по единому плану.

Банк данных представляет собой таблицу, строки которой являются характеристиками природной среды конкретных точек опробования, а столбцы описывают изменчивость определенного показателя в пределах АГС.

Исследование банка данных проводится в три этапа:

- 1) на качественном этапе осуществляется процедура сравнения средних значений характеристик различных АГС;
- 2) на количественном этапе производится математическое моделирование процессов функционирования АГС;
- 3) визуализация и анализ результатов исследований осуществляются на основе ГИС-технологий.

При сравнении характеристик различных АГС применяются разнообразные статистические методы, главными из которых являются методы парных сравнений по критерию Стьюдента и групповых сравнений при реализации дисперсионного анализа. Математическое моделирование процессов функционирования агрогеосистем осуществляется многими методами математиче-

ской статистики. Многочисленные примеры качественного и количественного анализа банков данных приведены в нашей работе «Агроландшафтоведение» [20]. Здесь же следует сказать о том, что в настоящее время довольно хорошо разработана теория многомерной статистики лишь для многомерных гауссовских наблюдений, то есть когда генеральная совокупность имеет многомерное нормальное распределение. Выполнение гипотезы о том, что случайные компоненты наблюдений подчиняются нормальному распределению с постоянной дисперсией, дает возможность построить строгую математическую теорию проверки статистической значимости построенных зависимостей и найденных оценок в рамках метода наименьших квадратов.

Создание банка данных, характеризующих природные условия таксономических АГС, начинается с выбора точек опробования, которыми в большинстве случаев являются типичные хозяйства. Выделяют два вида типичности: технологическую и агроэкологическую.

Технологически-типичными хозяйствами для конкретной таксономической АГС являются землепользования, в пределах которых используются зональные системы земледелия и выращиваются культуры, наиболее типичные для данных географических условий. Нетипичными хозяйствами выступают узкоспециализированные или специфические землепользования, как-то: совхозы-техникумы, птицефабрики, конные заводы и т. п.

Агроэкологически-типичными хозяйствами являются землепользования с типичными для данной АГС природными условиями, то есть в их пределах должны господствовать урочища доминанты и субдоминанты. Не рекомендуется включать в банк данных хозяйства, в пределах которых находятся ПТК, уникальные для данной АГС (останцовые леса, выходы кристаллических пород, пятна почв, сильно отличающиеся по плодородию от фоновых и т. д.)

Массив данных создается путем сбора фондовой, статистической, картографической и литературной информации. Данные из литературных, фондовых и статистических источников черпаются непосредственно по выделенным хозяйствам, в то время как работа с картографическим материалом проводится иначе. Начальный этап картографических работ – создание схемы расположения отобранных хозяйств в пределах изучаемой территории (рис. 1.9). Создается электронный вариант этой схемы, который на основе ГИС-технологий совмещается с картами, несущими

интересующую исследователя информацию. В ряде случаев информация с карт снимается непосредственно, но при определении агроклиматических и некоторых других параметров приходится прибегать к процедуре интерполяции (например, среднемноголетняя температура летних месяцев в хозяйстве, расположенном между изотермами, определяется по степени близости его к той или иной изолинии).

Характеристика района всегда избирательна, однако в любом случае отбираются факторы, описывающие основные компоненты агрогеосистем – слой приземного воздуха, оролитогенную основу ПТК, культурную биоту, почвы. Антропогенный компонент отражается в виде параметров структурной организации сельскохозяйственного производства.



Рис. 1.9. Схема расположения хозяйств в пределах изучаемой территории

Качественное изучение функционирования таксономических АГС осуществляется в три этапа: 1) районирование территории АГС; 2) парное или групповое сравнение средних, для выделов, значений факторов; 3) визуализация полученных результатов.

Районирование территории АГС может осуществляться двумя путями: 1) выделение, в ее пределах, АГС более низкого типизационного уровня (например, агроэкологических разделов в пределах зоны); 2) выделение, в ее пределах, внетаксономических групп АГС (например, групп родов агроландшафтов в пределах зоны).

Первый путь применяется при изучении наиболее общих закономерностей в пределах очень крупных территорий. При его

осуществлении выявляются, в основном, особенности биоклиматических (зональных) условий АГС. Вторым путем предназначен для изучения влияния оролитогенных (азональных) факторов на условия функционирования агрогеосистемы высокого уровня.

Определение достоверности различий средних значений (или других статистических показателей) фактора в конкретных выделах осуществляется на основе разнообразных параметрических или непараметрических процедур. Процедура сравнения позволяет выявить основные закономерности изменчивости природной среды в пределах изучаемой территории. Достоверное изменение показателя состояния определенного компонента (например, урожайности или кислотности почв) указывает на генетическое различие процессов ландшафтогенеза в пределах изучаемой территории.

В качестве примера можно привести материалы из нашей работы [10], в которых показаны результаты сравнения урожайности основных культур в пределах родов агроландшафтов Евро-северо-востока. В ходе исследований установлено, что на суглинистых почвах, вследствие их более высокого потенциального плодородия, наблюдается повышенная урожайность всех культур. Если взять урожайность культур на песках за 100 %, то урожайность яровой пшеницы на суглинках будет составлять 175 %, ячменя – 165 %, озимой ржи – 154 %, овса – 145 %, многолетних трав – 128 %, картофеля – 123 %, однолетних трав – 116 %. Достоверное превышение урожайности наблюдается только у зерновых культур.

При сравнении данных удобно пользоваться пакетами статистических программ, прилагающихся к геоинформационным системам. Так, в системе ArcView, возможно с помощью инструмента «выбор по расположению» выбрать совокупность точек опробования, расположенных в конкретном ареале, и с помощью опции этого же инструмента под названием «статистика» получить основные статистические показатели этой совокупности.

Процедура визуализации (наглядного представления) полученных результатов позволяет не только создать натурные модели явления в виде либо бумажных, либо электронных карт, но и выявить новые закономерности variability параметров ландшафтной среды при сравнительном анализе их серий. Все многообразие карт можно разделить на два типа – дискретные (преры-

вистые) и континуальные (непрерывные). На дискретных картах отображаются различия средних значений конкретного фактора между соседними АГС с помощью многих приемов, среди которых выделяют методы качественного фона, диаграмм, значков и т. д. Континуальные карты предназначены для изображения непрерывных изменений значений фактора в пределах конкретной территории на основе метода интерполяции.

Принципы интерполирования достаточно просты. На начальном этапе возле каждой точки опробования подписывается значение конкретного картографируемого параметра, определенного в ходе съемки (например, мощность гумусового горизонта). Затем определяется размах вариации значений картографируемого параметра (находится его минимальное и максимальное значение). Определяется количество и размер интервалов (градаций значений) параметра, наиболее удобное для отображения его пространственной вариации. Как правило, количество градаций фактора должно быть не меньше 3 и не больше 7. Определяются граничные значения интервалов. Затем на плане с точками опробования находятся места, все точки в которых принадлежат интервалу с наибольшими значениями (назовем его интервал № 1). Линия, оконтуривающая эти места, является изолинией, все точки которой характеризуются одинаковым значением изучаемого параметра. Оно равно пограничному значению между интервалом № 1 и следующим за ним интервалом № 2. Далее находятся точки, в которых значения параметра относятся к интервалу № 2 и тоже оконтуриваются. Линия, ограничивающая этот контур, также является изолинией, объединяющей значения параметра, относящиеся к границе интервалов № 2 и 3. Таким образом, оконтуриваются места, относящиеся к различным интервалам, и создается карта изолиний.

Современные методы создания изолинейных карт основаны на компьютерных технологиях, применяемых в геоинформационных системах. При этом машина может построить карту на основе разных алгоритмов, выбор которых осуществляет исследователь. Наиболее распространенные алгоритмы приведены ниже.

Метод обратных взвешенных расстояний (ОВР) – основанный на предположении, что каждая точка опробования имеет влияние, убывающее с увеличением расстояния от нее. При определении выходного значения для каждой точки поверхности мо-

жет быть использовано либо заданное число точек опробования, либо все точки в пределах заданного радиуса. При использовании этого метода предполагается, что влияние переменной, по которой ведется расчет, уменьшается при увеличении расстояния от исходной точки. Например, влияние режима полива на влажность почв уменьшается при увеличении расстояния от гидранта или поливочного агрегата.

Слайн – широко распространенный метод интерполяции, в котором используется условие минимальной кривизны поверхности, проведенной через точки опробования. При прохождении через исходную точку подбирается математическая функция для определенного числа ближайших точек опробования. Этот метод является наилучшим для плавно изменяющихся поверхностей, таких как рельеф, уровень грунтовых вод или концентрация загрязняющих веществ. Он не применим при больших градиентах значений на коротком интервале, когда может появиться ошибка при интерполяции.

Кригинг – особый метод интерполяции, основанный на предположении, что расстояние (иногда в определенном направлении) между точками опробования указывает на пространственную корреляцию, помогающую дать описание поверхности. Кригинг подбирает математическую функцию для заданного числа точек или для всех точек в пределах заданного радиуса, чтобы определить выходное значение для всех точек исследуемой области. Метод включает несколько шагов: предварительный статистический анализ данных, построение вариограммы, создание и анализ дополнительной поверхности изменчивости. Этот тип интерполяции подходит при наличии определенных закономерностей пространственного распределения величины, часто используется в почвоведении и других науках о Земле.

Тренд – метод, подбирающий математическую функцию – полином заданного порядка – для всех точек опробования. Тренд-анализ – математический метод, используемый для описания закономерностей изменчивости агрогеографического признака детерминированными функциями и оценки флуктуаций наблюдаемых значений его характеристики как случайной величины. При вычислении математической функции для описания результирующей поверхности тренд использует подбор функции методом

наименьших квадратов. В результирующей поверхности минимизировано отклонение от значений исходных точек.

Математическое моделирование процессов функционирования АГС производится прежде всего с целью выявления агроэкологически-однотипных территорий и исследования их характеристик. АОТ, выделяемые в пределах пространств, образованных совокупностью агроэкологических разделов или территорий, относящихся к более высоким таксонам типизации, называются мегаАОТ. Алгоритм выявления АОТ (в том числе мегаАОТ) в пределах конкретной территории состоит из следующих операций:

- 1) выявление с помощью мультирегрессионного анализа факторов, достоверно влияющих на продукционный процесс конкретной культуры;

- 2) определение на основе расчетов парных регрессионных полиномов оптимальных (соответствующих максимальной урожайности) или критических (соответствующих минимальной урожайности) значений выявленных факторов;

- 3) построение с помощью модуля SpatialAnalyst (пространственного анализа) ГИС ArcView изолинейных карт выявленных факторов;

- 4) выявление с помощью опции MapQuery (запроса к карте) модуля SpatialAnalyst территорий, как наиболее оптимальных для произрастания культуры, так и характеризующихся негативным влиянием на нее конкретных факторов;

- 5) выделение в пределах анализируемой территории с помощью опции MapQuery ареалов, оптимальных для произрастания культуры по нескольким факторам.

Вышеописанное поясним на примере изучения адаптивных реакций совокупности зерновых и зернобобовых культур на ландшафтные условия в пределах Евро-Северо-Востока, территория которого является конгломератом ландшафтных областей (агроэкологических ареалов).

На первом этапе определяли факторы, достоверно влияющие на продуктивность культур. Сила влияния (доля вариабельности значений изучаемого явления обусловленная влиянием конкретного фактора) этих факторов, определенных в ходе мультирегрессионного анализа, а также другие параметры регрессионной модели, полученные при реализации второго этапа, приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты изучения адаптивных реакций совокупности зерновых и зернобобовых культур на ландшафтные и агропроизводственные условия Евро-Северо-Востока¹ [10]

Фактор	Сила влияния, %	Характер зависимости	Оптимальные значения
ГТК	28,7	-	<1,4
Запас продуктивной влаги	7,3		180–200
$\sum t > 10^\circ$	5,1	+	> 2000

Фактором, наиболее сильно влияющим на продуктивность зерновых и зернобобовых культур в пределах всего Евро-северо-востока, является гидротермический коэффициент. При его возрастании наблюдается снижение продуктивности этих культур. Оптимальными для зерновых и зернобобовых можно считать все его значения меньше 1,4, то есть они предпочитают места, где осадки лишь незначительно превышают испаряемость. Эти культуры чутко реагируют на вариабельность запасов продуктивной влаги в почве. Наилучшие условия для них складываются в узком диапазоне значений этого параметра – от 180 до 200 мм. Зерновые и зернобобовые требовательны к теплу, оптимальные условия для них возникают в местах, где сумма эффективных температур превышает 2000°.

На следующих этапах исследований с помощью модуля ГИС SpatialAnalyst, методом сплайна были построены изолинейные карты (карты изолиний) вышеуказанных факторов – карты пространственного изменения гидротермического коэффициента, запасов продуктивной влаги в почве и суммы эффективных температур для всего изучаемого региона (рис. 1.10). Затем, на основе запроса к карте (MapQuery), на каждой факториальной изолинейной карте выделяли оптимальные ареалы и удаляли области, неоптимальные для произрастания зерновых и зернобобовых.

¹ Знак (–) означает линейную обратно пропорциональную зависимость, (+) – линейную прямо пропорциональную зависимость, отсутствие знака – нелинейную зависимость продуктивности культуры от конкретного фактора. Оптимальными значениями в случае линейной зависимости между продуктивностью культуры и значениями фактора считаются параметры, при которых наблюдается урожайность выше среднего значения.

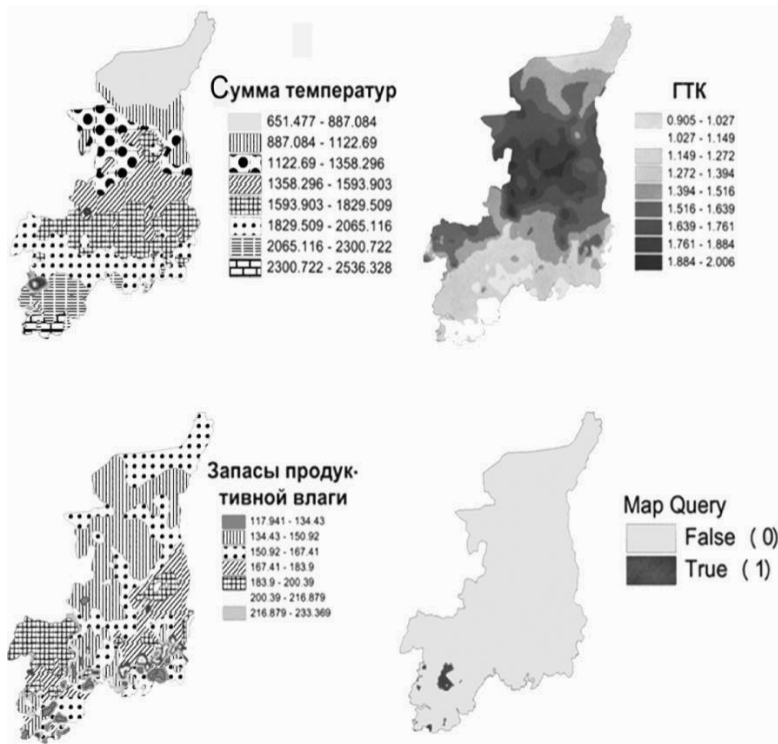


Рис. 1.10. Применение ГИС-технологий при изучении АОТ

Зона, оптимальная по гидротермическому коэффициенту для произрастания изучаемой совокупности культур, находится в пределах изолинии 1,4.

Территория, оптимальная по запасам продуктивной влаги, располагается между изолиниями 180–200 мм. Ареал, наиболее благоприятный по сумме эффективных температур, лежит южнее изотермы 2000°.

На последнем этапе проводилось наложение друг на друга трех карт Евро-Северо-Востока, на одной из которых показана зона, оптимальная по ГТК, на другой – зона, оптимальная по запасам продуктивной влаги, на третьей – зона, наиболее благоприятная по сумме температур. На результирующей карте отображены ареалы, оптимальные по трем, двум и одному фактору (рис. 1.11).

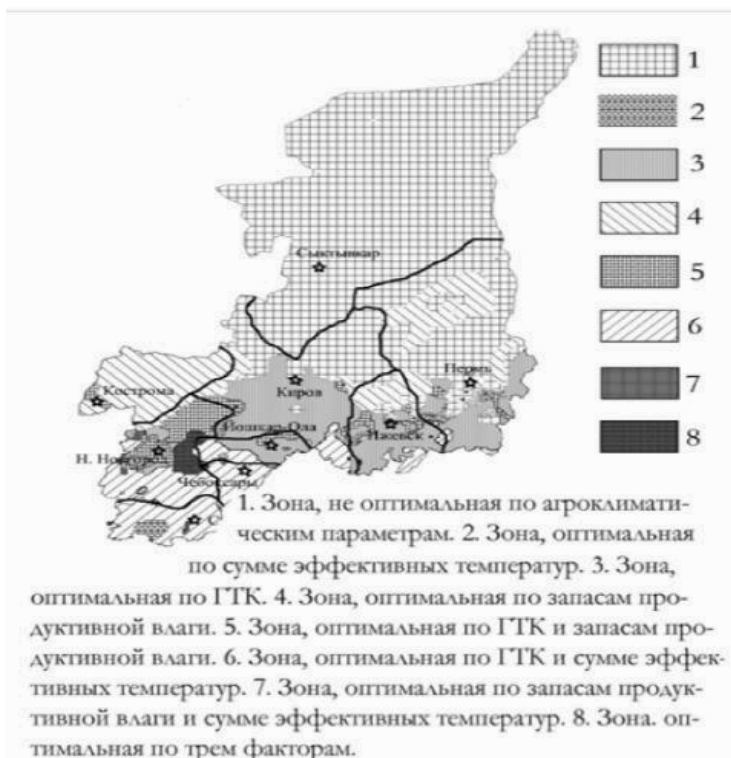


Рис. 1.11. Карта-схема расположения мегаАОТ урожайности зерновых и зернобобовых в пределах Евро-Северо-Востока РФ

Таким образом, с помощью MapQuery на совместной трехфакторной карте были выделены места, оптимальные для произрастания этих культур по всем трем факторам, по двум факторам (ГТК и продуктивная влага, ГТК и сумма эффективных температур, сумма эффективных температур и продуктивная влага) и по каждому фактору (ГТК, продуктивная влага, сумма эффективных температур). Эти места и являются процессно-гомогенными мегаАОТ, которые характеризуются не только повышенной урожайностью этих культур, но и однотипностью влияния на них выделенных факторов.

Итак, в пределах обширной территории, охватывающей несколько агроэкологических блоков, проявляется достоверное влияние на производственный процесс культур только факторов,

отражающих, как правило, агроклиматические особенности территории. Они варьируют в значительных масштабах лишь в пределах очень крупных территорий, в то время как факторы, зависящие от устройства литогенной основы агрогеосистем, настолько изменчивы, что не проявляют своего воздействия в этих условиях. При переходе на более низкий уровень организации, на котором агрогеосистемы имеют меньшие размеры, агроклиматические факторы утрачивают свое значение вследствие того, что их вариабельность становится малозаметной, а им на смену приходят более вариабельные параметры.

Следует отметить, что мегаАОТ далеко не всегда занимают огромные площади. Они образуются в результате взаимодействия мегафакторов – то есть таких факторов, характер варьирования которых проявляется только в условиях мегатерриторий. Немаловажно отметить, что влияние мегафакторов распространяется на агрогеосистемы любого размера, поэтому закономерности, выявленные на этом этапе исследований, должны быть учтены при конструировании АЛСЗ любого уровня.

При изучении таксономических АГС используются и географические методы исследований – профильный и ключевой. Так, сопоставление характера адаптивных реакций одних и тех же культур в одноуровневых АГС, расположенных по меридиану (с севера на юг) показало, что при движении в этом направлении сила влияния гидротермических факторов на произрастание растений существенно ослабевает, что объясняется снижением их лимитирующего воздействия.

Сравнение адаптивных реакций растений на условия территорий, расположенных в различных агроклиматических секторах, позволило установить факт закономерной трансформации спектра и числа факторов, влияющих на продукционный процесс культур при изменении климатической обстановки. Можно сказать, что в ряду «песчаных» агрогеосистем, расположенных по мере увеличения континентальности климата (с запада на восток), будет наблюдаться псевдоциклическое изменение числа агроклиматических факторов, влияющих на урожайность культур. Максимальное количество этих факторов сосредоточится на границах смены классов агрогеосистем, совпадающих с рубежами климатических подсекторов. В центральных частях подсекторов можно прогнозировать снижение влияния агроклиматических

условий на урожайность растений. На суглинках, по мере усиления континентальности климата, наблюдается закономерное увеличение количества агроклиматических факторов, влияющих на формирование урожайности культур. Эти закономерности, полученные при изучении рядов одноуровневых АГС, позволяют прогнозировать поведение растений при глобальном потеплении.

Исследования адаптивных реакций растений на особенности агроландшафтной среды таксономических АГС в режиме полевых экспериментов носят подчиненный характер из-за сложности учета вариабельности параметров их компонентов в одном опыте. Но в ряде случаев, когда одноуровневые АГС, принадлежащие к разным родам или видам агроландшафтов, находятся в относительной близости, возможна закладка системы однотипных полевых опытов, на основе которых можно изучать адаптивные реакции различных компонентов. Примером таких исследований может быть наш опыт по изучению эволюции почвенного покрова под действием осушения и сельскохозяйственного использования, результаты которого даны в различных источниках [8]. Интересна в этом отношении работа С.Н. Лукьянова, выполненная в Ивановской области. Он заложил систему классических опытов, делянки одного из которых располагались в пределах моренного рода агроландшафтов, а другого – на зандрах (песках). В опытах, заложенных по единой схеме, изучалось влияние ландшафтных условий на особенности роста и развития яровых зерновых культур, фотосинтетическую деятельность посевов, процессы формирования элементов структуры урожая, определялась экологическая и экономическая эффективность формирования программируемых урожаев яровых зерновых культур различного уровня. Выявлено, что культивирование яровой пшеницы достаточно устойчиво и эффективно как в моренных, так и в зандровых ландшафтах при условии оптимизации минерального питания. Производство ячменя следует концентрировать в моренных ландшафтах. Размещение культуры в зандровых ландшафтах экономически рискованно и экологически необоснованно [26]. На основе результатов работы разработаны рекомендации по целесообразности возделывания яровых зерновых культур и оптимального уровня интенсификации технологий в различных родах агроландшафтов.

Необходимо сказать, что результаты многих полевых экспериментов, проведенных с целью изучения агрономических

проблем, могут быть переосмыслены на основе агроландшафтных принципов и дать массу информации, полезной для развития агрогеографии.

1.3.1. Региональные системы земледелия

Определение основных параметров региональных систем земледелия (РСЗ) проводится при изучении с помощью качественных и количественных методов адаптивных реакций растений на природные и производственные особенности агроэкологических разделов (АР). Главным показателем адаптивных реакций растений на условия природной среды является их урожайность. Данные по урожайности культур и состоянию природной и производственной среды территории получают из многочисленных фондовых, литературных, статистических и картографических источников в ходе формирования банка данных. При этом определяются основные агропроизводственные параметры изучаемой территории – набор культур, главные направления агромелиоративной деятельности, основные принципы размещения хозяйств с различной специализацией и т. д.

Первый этап создания РСЗ – определение их количества в конкретной области или республике. Изучая соотношение административных и природных границ, можно отметить, что в целях макроландшафтной адаптации сельскохозяйственного производства для Владимирской, Ивановской, Брянской, Калужской областей и Чувашской Республики достаточно создать по одной РСЗ, для Ярославской, Смоленской, Рязанской областей, а также Удмуртии и Мордовии – по две, для Республики Марий Эл и Костромской области – по три, для Московской и Тверской областей, а также равнинной части Пермского края – по четыре, для Нижегородской области – пять, Кировской области и Республики Коми – по семь РСЗ (рис. 1.7).

Следующим этапом разработки РСЗ является качественное сопоставление показателей природных и производственных условий АР. Сопоставление показателей гидротермических условий макро-территорий показывает, какие АР характеризуются дефицитом тепла, что обуславливает преимущественное применение в их пределах тепловых мелиораций. Сопоставление условий влагообеспеченности определяет степень зависимости сельскохозяйственного производства от осушения или орошения. Закономерности распределения

осадков повторяют пространственную динамику континентальности климата, которая обуславливает пространственную неоднородность таких базовых агроклиматических характеристик, как сумма температур выше 10°, продолжительность вегетационного периода, что во многом определяет набор культур.

Климатические и оролитогенные особенности природно-территориальных комплексов во многом определяют направленность современных ландшафтообразующих процессов, из которых наиболее интересными для агрономов и агроэкологов являются эрозия, загрязнение и заболачивание почв. В некоторых АР при переходе в режим ЛМСЗ необходима коррекция элементов используемых зональных систем земледелия. Так, в агроэкологическом разделе Северных Увалов южной тайги для предотвращения деградационных процессов необходимо провести коррекцию соотношения угодий, агромелиоративных и противоэрозионных элементов зональной системы земледелия, в то время как в Верхневолжском АР хвойно-широколиственных лесов вполне достаточно набора традиционных (зональных) мероприятий (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Индивидуальные особенности коррекции элементов зональных систем земледелия в условиях некоторых АР при переходе в режим РСЗ, выявленные на качественном этапе их разработки (номера АР даны на рис. 1.7)

№ АР	Комплексная мелиорация	Соотношение угодий	Противоэрозионные мероприятия	Структура посевных площадей
16, 26, 27	Тепловые мелиорации, осушение	Залужение крутых склонов	Традиционные мероприятия	Без изменений
1	Осушение + орошение, культуртехника	Залужение крутых склонов	Снегозадержание + традиционные мероприятия	Без изменений
11	Тепловые мелиорации, осушение	Снижение доли пашни, залужение крутых склонов	Традиционные мероприятия	Снижение доли яровых
4	Осушение	Снижение доли пашни	Традиционные мероприятия	Снижение доли яровых
18	Орошение	Снижение доли пашни, залужение крутых склонов	Снегозадержание, создание лесозащитных полос	Снижение доли яровых и пропашных

Принципы количественного анализа адаптивных реакций растений на условия агроэкологических разделов изложены в главе 2. Следует, однако, отметить, что в различных АР наборы анализируемых факторов не всегда совпадают из-за разнообразия их природных условий и методов статистического учета в различных административных единицах. Но в пределах конкретной области или республики такого несовпадения, как правило, не наблюдается, что весьма важно для создания единой ЛМСЗ административной единицы, состоящей из совокупности РСЗ.

В отличие от качественного анализа, статистическое изучение адаптивных реакций растений позволяет разрабатывать мероприятия по ландшафтной адаптации технологий выращивания конкретных культур. Эти мероприятия, не отрицая традиционных агротехнологических подходов, способствуют более полному учету влияния ландшафтных условий на произрастание растений. Их применение позволяет производить коррекцию элементов зональных систем земледелия, делать их более адекватными местным условиям (табл. 1.4).

Нужно отметить, что мероприятия, указанные в таблицах 1.3 и 1.4, являются прежде всего пакетом управленческих решений, направленных на адаптацию к ландшафтным условиям основных принципов ведения хозяйства в конкретном регионе. Исходя из того, что агроэкологические разделы, являясь макроединицами, характеризуются значительной пестротой природных условий, все описанные рекомендации относятся не столько к конкретным землепользователям, сколько к специалистам, планирующим развитие АПК конкретной административной единицы.

Региональные системы земледелия, являясь подспорьем для планирования земледельческой практики, направлены:

- 1) на уточнение специализации хозяйств;
- 2) разработку документов по управлению финансовыми и материальными потоками АПК в пределах региона;
- 3) планирование макро- и мезоагроэкологических мероприятий;
- 4) выделение сравнительно однородных в агропроизводственном отношении зон, в пределах административных единиц.

На уровне конкретного хозяйства результаты разработки РСЗ вливаются в документ, описывающий основные черты его ЛМСЗ, в виде самых общих рекомендаций.

Таблица 1.4

Индивидуальные особенности коррекции элементов зональных систем земледелия в условиях различных АР при переходе в режим РСЗ, выявленные на количественном этапе их разработки

АР	Режим коррекции на основе анализа факторов агроприродной среды
Группа Печорских	Посевы культур целесообразно размещать на легких почвах. Преобладающей культурой в структуре посевных площадей должны быть многолетние травы
Северные Увалы средней тайги	В хозяйствах, специализирующихся на выращивании картофеля, нужно всемерно увеличивать долю луговых угодий. Хозяйства рекомендуется располагать в местах со среднегодовой t июля $<19,5^\circ$. Выращивать однолетние травы следует на массивах с двойным регулированием водно-воздушного режима почв. Оптимальный, для большинства культур размер контура – 35,0 га
Северные Увалы южной тайги	Хозяйства, специализирующиеся на выращивании картофеля, должны расширять долю лугов за счет пашни. Оптимальное месторасположение этих хозяйств – пониженные места на легких почвах с бонитетом 50 баллов. Зернопроизводящие хозяйства должны занимать самые плодородные земли
Верхневолжский хвойно-широколиственных лесов	Хозяйства, специализирующиеся на производстве зерна, рекомендуют располагать в местах с наиболее прохладным летом. Зерновые требуют повышенного уровня минерального питания. Льноводческие хозяйства желательнее размещать в местах с наиболее ранними сроками поспевания почв. Картофель и многолетние травы нуждаются во внесении органических и фосфорных удобрений
Северо-Приволжский широколиственных лесов	Большинство культур нуждаются в двойном регулировании водно-воздушного режима почв

Результаты исследования адаптивных реакций растений на условия различных групп родов агроландшафтов могут быть использованы прежде всего в целях осмысления теоретических аспектов агроландшафтоведения, так как гранулометрический состав литогенной основы АГС оказывает огромное влияние на характер адаптивных реакций культур на ландшафтные условия.

Самое большое влияние на особенности протекания продукционного процесса культур оказывает степень открытости агрогеосистем, которая в основном выражается характером накопления и трансформации веществ (прежде всего влаги) и энергии в их пределах. Суглинки, по сравнению с песками, являются более открытыми системами, так как большая часть попадающей в них влаги быстро удаляется из геоконплекса в виде поверхностного стока. Остальная часть влаги попадает в грунтовые воды и за счет мощной капиллярной каймы достаточно равномерно распределяется в пространстве АГС.

В песчаных ландшафтах поверхностный сток развит слабо, поэтому большая часть выпавших осадков попадает в грунтовые воды и покидает АГС за счет медленного грунтового стока. Капиллярная кайма в этих агроландшафтах маломощная, что приводит к резкой дифференциации степени заболоченности почв в пространстве. В местах с развитым мезо- и микрорельефом на небольшом расстоянии наблюдается смена почв различной степени заболоченности. Это способствует усилению внутриландшафтной пестроты, что, в свою очередь, ведет к увеличению числа факторов, активно влияющих на продукционный процесс культуры.

Использование результатов исследований адаптивных реакций растений на условия рода агроландшафтов затруднено вследствие того, что в его пределах встречаются геоморфологические образования, сильно различающиеся по генезису. Эти данные лишь способствуют уточнению параметров РСЗ.

1.3.2. Базовые системы земледелия

Региональные системы земледелия, являясь фундаментом ЛМСЗ конкретных регионов, не могут полностью исчерпать всех ее аспектов вследствие того, что не затрагивают в полной мере основных элементов систем земледелия – обработки почв, системы севооборотов, удобрения почв и защиты растений. Эти элементы подробно рассматриваются на уровне базовых моделей ЛМСЗ, учитывающих природные и агропроизводственные условия внетаксономических групп типов агроландшафтов – агрогеосистем, в которых генетически однородны как почвообразующие породы, так и рельеф.

Базовые модели ЛМСЗ – главное звено процесса ландшафтной адаптации сельскохозяйственного производства. При

сопоставлении особенностей базовых моделей и РСЗ соблюдается принцип иерархической парадигмы, что позволяет наиболее полно адаптировать земельные мероприятия к ландшафтным условиям территории.

На первом этапе базового моделирования на основе анализа ландшафтной карты региона определяется количество основных внетаксономических групп типов агроландшафтов, слагающих его территорию (например, плоские песчаные равнины, увалистые равнины на покровных пылеватых суглинках и т. д.).

Так, покровно-моренные (характеризующиеся преобладанием пылеватых покровных суглинков) и конечно-моренные (на валунных суглинках и двучленах) агроландшафты хотя и являются относительно благоприятными для земледелия (слабокислые, относительно плодородные почвы), в то же время склонны к заболачиванию, эрозии, имеют резко выраженную литологическую и почвенную пестроту. Агроландшафты конечно-моренных гряд отличаются еще и сильной закамененностью почв. Эти территории нуждаются в комплексном агромелиоративном воздействии, направленном прежде всего на сдерживание процессов заболачивания и эрозии. Актуальны здесь также планировка полей и культуртехнические мероприятия.

Полесские агроландшафты, господствующие в пределах песчаных слабохолмистых равнин, характеризуются отсутствием эрозионных процессов и закамененности почв, но отличаются их высокой кислотностью, низким плодородием и слабой водоудерживающей способностью. В пределах этих ландшафтов прежде всего необходимо комплексное воздействие на плодородие почв.

Пойменные агроландшафты, характеризующиеся как самые плодородные в Нечерноземье (гумус более 6 %) и наиболее пригодные для земледелия, подвержены ежегодной опасности подтопления. Также они отличаются сравнительно низкими суммами эффективных температур. Здесь актуальны противопаводковые мероприятия, а также тепловые мелиорации [16,17].

Затем для каждой внетаксономической группы определяется оптимальное соотношение луга, леса и пашни. Выбор правильного соотношения луга, леса и пашни позволяет оптимизировать основные агроландшафтные процессы (баланс тепла и влаги, миграцию элементов питания, интенсивность и направленность поверхностного стока и т. д.), создать благоприятную обстановку для произ-

растания культур и проведения технологических операций а также эстетически привлекательный облик местности.

Первым этапом оптимизации структуры угодий является изучение особенностей микроландшафтного устройства агрогеосистем. Для реальных хозяйств предложены методы ландшафтного анализа, широко известные в литературе [33]. Для модельных АГС разработаны альтернативные способы изучения ландшафтной структуры, основанные на выборе специальных «ключевых» участков при использовании картографических и литературных материалов. На основе полученных результатов дается характеристика морфологической структуры агрогеосистем, основными параметрами которой являются средние значения площадей элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ).

Характеристика условий природной среды ЭГЛ, с целью определения их лимитирующего воздействия на продукционный процесс культур, дается на основе анализа полевых данных, литературных, фондовых и статистических материалов. Основными источниками информации являются почвенные и агрохимические карты хозяйств, агрометеосправочники, данные институтов системы гипроземов и гипроводхозов. На основе полученной информации проводят анализ производственного потенциала ЭГЛ и выявляют характер потенциального распределения угодий в пределах изучаемой территории, которое определяется наиболее вероятным направлением эксплуатации изучаемых ЭГЛ. Так, например, вершины холмов и верхние части склонов в типах агроландшафтов крупнохолмистых равнин возможно отводить под пашню, однако пространства элювиально-аккумулятивных ЭГЛ, занятые заболоченными почвами, здесь рекомендуется использовать под сенокос. Транзитные местоположения в этих АГС пригодны в основном под пастбищное использование, вследствие сильной закаменности почв, а транзитно-аккумулятивные – под сенокосное, так как более влажные почвы быстро разрушаются от перевыпаса. В аккумулятивных ЭГЛ не заболоченные безлесные пространства могут быть использованы под пастбища.

На основе сопоставления данных по площадям ЭГЛ и особенностей потенциального распределения угодий определяют потенциальную структуру угодий агрогеосистемы, под которой понимается соотношение максимально возможных площадей угодий, обусловленное генетическими особенностями агроланд-

шафтов (свойствами рельефа, пород, почв и т. д.) и его морфологической структурой.

Хотя потенциальная структура является гипотетической конструкцией, так как предполагает полное использование территории АГС в сельскохозяйственном производстве, на ее основе можно сделать некоторые предварительные выводы о направленности использования генетически различных территорий. Установлено, что основные группы типов агроландшафтов Нечерноземья существенно не различаются по максимальной возможной площади пашни, в то время как на характер распределения лугопастбищных угодий специфика геосистем оказывает заметное влияние. Если в пределах крупнохолмистых равнин на завалуненных двучленных отложениях наблюдается практическая равновеликость площадей сенокосов и пастбищ, то в опольных (на покровных суглинках) агроландшафтах пастбищные угодья распространены на небольшой площади из-за сильной склонности этих АГС к эрозии, суффозии, заболачиванию и слабой устойчивости к перевыпасу.

При организации адаптивно-ландшафтного луговодства следует учитывать, что геохимические типы урочищ в основном совпадают с подклассами лугов. Абсолютным суходолам соответствует элювиальный ЭГЛ, нормальным суходолам – элювиально-транзитный и элювиально-аккумулятивный, суходолам временно-избыточного увлажнения – транзитный и транзитно-аккумулятивный ЭГЛ. Подклассы низинных и западных лугов располагаются в аккумулятивных геоконструкциях. Строгая экологическая привязка классификационных подразделений лугов к определенным агроландшафтным нишам позволяет четко дифференцировать приемы и методы лугопастбищного кормопроизводства в соответствии с агроландшафтными условиями.

Процесс оптимизации структуры угодий может протекать по двум направлениям, дополняющим друг друга.

При проведении «ландшафтно-производственной» оптимизации исходят из параметров потенциальной структуры угодий. При учете доли и характера расположения лесов, болот и прочих несельскохозяйственных территорий, а также специализации хозяйства, на ее основе возможно получить оптимальную структуру угодий. Параметры оптимальной структуры определяются путем анализа агроландшафтных карт хозяйств, природных характери-

стик основных микровыделов, а также характера производства сельскохозяйственной продукции в данном хозяйстве.

В режиме «ландшафтно-экологической» оптимизации, кроме потенциальной структуры, производится расчет параметров «адаптивной» структуры угодий на основе статистического анализа зависимости продуктивности сельскохозяйственных культур от площадей угодий в представительных хозяйствах. Эта структура отражает только требования культур к пространственному устройству ландшафта (табл. 1.5). В процессе ее определения рассчитывают парные полиномы, описывающие зависимость урожайности культуры от параметров угодий. Оптимальными считаются значения параметров угодий, соответствующие максимальной урожайности культуры. Точки перегиба кривой ограничивают оптимальные или критические интервалы значений параметров угодий. В случае получения графика функции, близкой к линейной, определяется лишь общий характер зависимости продуктивности от параметров угодий. При прямо пропорциональной зависимости увеличение площади угодья способствует повышению урожайности, при обратно пропорциональной – снижению.

Таблица 1.5

Параметры «адаптивной» структуры угодий для конкретных культур

Культура	Параметры структуры угодий			
	Пашня, %	Сенокос, %	Пастбище, %	Не с-х. терр., %
Группа крупнохолмистых ТА				
Картофель	30.0	15.0	>6.0	50.0
Зерновые	20/0	6.0	8.0	60.0
Лен	17.0	6.0	10.0	67.0
Мн. травы	17.0	5.0	12.0	66.0
Группа «опольных» ТА				
Картофель	- *	8.0	7.0	-
Зерновые	40.0	6.0	15.0	39.0
Лен	17.0	8.0	13.0	62.0
Мн. травы	25.0	8.0	15.0	52.0
Группа «полеских» ТА.				
Картофель	35.0	10.0	15.0	40.0
Зерновые	>20.0	5.0	13.0	35.0
Лен	30.0	10.0	10.0	30.0
Мн. травы	-	10.0	10	30.0

* – (-) – отсутствие зависимости между параметрами угодья и урожайностью.

Взаимосвязь вариабельности доли пашни и урожайности культур обусловлена тем, что на мелких обрабатываемых участках растения больше страдают от сорняков, чем на крупных. В их пределах затруднительно применять интенсивные приемы обработки почв, химизации и защиты растений. Когда доля пашни в хозяйстве превышает определенную норму, усиливаются процессы деградации почвенного покрова – эрозия, заболачивание, минерализация гумуса и т.д. При оптимальной доле пашни в хозяйстве в большинстве случаев наблюдается максимальная урожайность культуры, так как создается наиболее удачное сочетание агроэкологических и производственных факторов для ее возделывания.

Влияние вариабельности доли сенокосов на урожайность культур можно объяснить тем, что, с одной стороны, они оказывают благоприятное воздействие на гидрологический и термический режим агроландшафта, способствуют накоплению гумуса в почвах, улучшению почвенной структуры и т.д., а с другой, являются источником сорняков. Оптимальная доля сенокосов благоприятно воздействует на микроклимат и почвенное плодородие и не приводит к интенсивному засорению полей. Пастбища, по своему агроэкологическому воздействию, близки к сенокосам, однако, в этом случае добавляется фактор выпаса. Интенсивный выпас приводит к деградации не только луговых угодий, но и всего агроландшафта, что сказывается на урожайности многих культур. Суммарная доля пастбищ и сенокосов составляет луговые угодья хозяйства. Кроме влияния на энергетику и гидрологию ландшафта, они являются источниками органического вещества, поступающего в виде навоза на поля. Расчет параметров «адаптивной» структуры по севооборотам в модельных условиях проводится в ходе определения среднеарифметических значений параметров «адаптивной» структуры по отдельным культурам.

Оптимальная структура угодий определяется в результате сопоставления параметров «адаптивной» и «потенциальной» структур. Сначала рассчитывается соотношение площадей пашен «адаптивной» и «потенциальной» структур, которое является коэффициентом пересчета площади угодий. При условии близких значений этих параметров, что имеет место в крупнохолмистых агроландшафтах, «адаптивная» структура угодий, при разработке «оптимальной», не подвергается значительной коррекции. В

«опольных» ландшафтах отношение площади «потенциальной» пашни, к площади «адаптивной» равно 0.8. Это значение является коэффициентом пересчета площадей всех угодий. При этом изменение их площадей не приводит к трансформации соотношений луга, леса и пашни.

В тех случаях, когда в пределах агроландшафта невозможно выделить достаточно площади под какой-либо вид луговых угодий проводится уточнение доли сенокосов и пастбищ. Так в «опольных» ландшафтах площади, пригодные под пастбища, не превышают 1.5 %, в то время как для адаптации культур пастбища должны занимать 12-14 % всей площади АГС. В таком случае под культурные пастбища необходимо отводить все пригодные площади, а дефицит органических удобрений восполнять за счет выпаса скота на залежах и в лесах. Путем деления недостающей доли пастбищ на площадь несельскохозяйственных территорий можно вычислить, что при использовании плодосменных севооборотов в этой группе типов агроландшафтов 12% площади, не занятой под сельскохозяйственные угодья (леса, кустарники, залежи и т.д.), необходимо отводить под выпас скота (табл. 1.6).

Как видно из таблицы 1.6, параметры структур существенно различаются. Растения, как правило, «требуют» значительно большей доли пашни, чем может позволить ландшафт. Это можно объяснить тем, что при увеличении площади пашни выше экологических норм, с одной стороны провоцируются деградационные процессы, а с другой возникает возможность максимально полного применения современных технологий выращивания культур. Это приводит к «затушевыванию» последствий негативных процессов.

Однако дальнейшее увеличение пашни приводит к тому, что выигрыш от технологии уже не компенсирует вреда, наносимого деградационными процессами, и урожайность культур резко падает. Поэтому, ориентируясь только на «адаптивную» структуру угодий, можно, получая хорошие урожаи, нанести существенный вред ландшафту и плодородию почв. Следует отметить, что в группе «полесских» типов наблюдается наибольшее соответствие между видами структур, в то время как в крупнохолмистых, и особенно в «опольных» агрогеосистемах, доли пашни в реально сложившейся структуре превышает не только ландшафтные нормативы, но и требования культур.

Таблица 1.6

**Значение параметров «потенциальной», «адаптивной»
(по севооборотам) и реально сложившейся структур угодий
в различных группах типов агроландшафтов**

Структура (севообороты)	Параметры структуры угодий			
	Паш- ня, %	Сено- кос, %	Пастби- ще, %	Не с/х терр., %
Группа крупнохолмистых ТА				
Потенциальная	20.3	35.7	43.0	
«Адаптивная» Плодосменный	21.0	8.0	7.0	64.0
«Адаптивная» Зернотравяной со льном	18.0	6.0	10.0	66.0
Сложившаяся	27.0	7.0	8.4	56.0
Группа «опольных» ТА				
Потенциальная	21.5	76.7	1.4	
«Адаптивная» Плодосменный	27.0	7.5	12.5	53.0
«Адаптивная» Зернотравяной со льном	27.0	7.0	14.0	52.0
Сложившаяся	34.0	5.4	10.8	47.5
Группа «полесских» ТА				
Потенциальная	23.4	60.0	7.5	
«Адаптивная» Плодосменный	28.0	9.0	12.0	51.0
«Адаптивная» Зернотравяной со льном	25.0	8.0	11.0	56.0
Сложившаяся	24.5	8.3	9.4	56.8

Альтернативный способ определения оптимального соотношения угодий на биоэнергетической основе предложен курскими учеными в 2005 г. В основу их методики оптимизации структуры земельных угодий в агроландшафте положено два фактора: 1) биоэнергетический потенциал территории агроландшафта (БЭПТ), который характеризуется количеством энергии фитомассы и органического вещества почвы агро- и экосистем агроландшафта; 2) показатель стабилизации различных агроэкосистем и экосистем, их разнонаправленность в воздействии на агроландшафт.

При построении модельных агроландшафтов (элементарная единица – водосбор) они учитывали содержание и запас энергии

в различных типах растительности на основании литературных (лесные и травянистые ценозы) и фактических (полевые ценозы) данных по запасу и приросту фитомассы (надземной и подземной), содержанию и запасам гумуса в почве.

Определено соотношение леса и пашни в эталонной системе (модельном агроландшафте с черноземом типичным несмытым): лес с лугом (стабилизирующие экосистемы) должны составлять 33,0 %, а пашня (дестабилизирующие агроэкосистемы) – 67,0 %. Следует отметить, что площадь леса включает в себя и площадь луга как экосистема, которая максимально реализует экологическую емкость агроландшафта.

За оптимальное соотношение между лесом и пашней принимается такое, при котором БЭПТ леса и БЭПТ пашни в эталонной системе (модельном агроландшафте с черноземом типичным несмытым) равны (по правилу «территориального экологического равновесия») [27].

Используя данную методику, можно определить оптимальное соотношение луга, леса и пашни для агроландшафтов с черноземными и серыми лесными почвами в пределах ЦЧО. Дальнейшего развития требуют вопросы учета гранулометрического состава почв и генетических особенностей рельефа. Представляется вполне возможным распространение (при определенной доработке) данной методики и на ландшафты Нечерноземья.

Количественный этап разработки базовых моделей ЛМСЗ, проводящийся на основе статистических процедур, позволяет выявлять особенности выращивания растений в конкретной группе типов агроландшафтов.

Сравнение характера адаптивных реакций одних и тех же культур на природные условия различных внетаксономических групп типов агроландшафтов помогает выявить коренные различия агроэкосистем с точки зрения производства и охраны среды. Для подобного анализа нами отбирались культуры, представленные во всех внетаксономических группах типов агроландшафтов Евро-Северо-Востока РФ: картофель, озимая рожь, ячмень, овес и многолетние травы. Определялись средние, для всей совокупности культур, значения силы влияния факторов на продуктивность. Анализ полученных данных позволяет утверждать, что в условиях полесий и ополей Евро-Северо-Востока на продуктивность этой совокупности культур основное влияние оказывают

агроклиматические факторы. Причем если в опольях половина суммарного воздействия всех изучаемых факторов природной среды связана с распределением термических ресурсов ($\sum t > 10^\circ$), то в полесьях 43 % этой суммы обусловлено вариабельностью ГТК. Это объясняется различиями в водоудерживающей способности суглинистых и супесчаных почв.

В опольях на черноземах главную роль в определении характера вариабельности урожайности культур играют факторы, влияющие на эрозионное состояние земель. Климатическая составляющая в виде континентальности климата определяет только 13 % суммарного воздействия факторов. Это обусловлено как значительной антропогенной нагрузкой, так и особенностями климатических условий этой АГС.

В долинных ландшафтах наиболее весомы факторы почвенного плодородия, хотя гидротермические условия ландшафтов также играют весьма существенную роль в формировании продуктивности данной совокупности культур. Это свидетельствует о крайне выраженной здесь пространственной пестроте процессов аккумуляции питательных веществ, во многом обусловленной сложностью протекания современных аллювиальных процессов.

В крупнохолмистых АГС агроклиматические факторы не оказывают существенного воздействия на пространственную вариабельность продуктивности культур. Главную роль здесь играют факторы почвенного плодородия, структурной организации АГС и условия развития эрозионных процессов. Слабая выраженность влияния климатических условий на производственный процесс объясняется сильнейшей пестротой литогенной основы в данной АГС, на фоне которой климатические макроградиенты малозаметны.

Исходя из изложенного необходимо отметить, что базовые модели ландшафтно-мелиоративных систем земледелия, разрабатываемые для различных внетаксономических групп, должны существенно различаться. Основное направление коррекции зональных систем земледелия в пределах ополей Евро-Северо-Востока РФ – адаптивное размещение посевов культур в эколого-территориальных нишах с наиболее оптимальными термическими ресурсами, применение комплекса тепловых мелиораций, выборочное осушение, противоэрозионные мероприятия. Ополья на черноземах нуждаются в снижении антропогенного пресса (в со-

кращении доли пашни), проведении интенсивных противоэрозионных мероприятий, в адаптивном размещении посевов в нишах с наименее стрессоопасной обстановкой и двойном регулировании водно-воздушного режима почв. В полесьях необходимо проводить двойное регулирование водно-воздушного режима почв, адаптивно размещать посевы в местах с наиболее оптимальными гидротермическими условиями, применять комплекс мероприятий по повышению плодородия почв. В долинных ландшафтах весьма актуальны мероприятия по выравниванию почвенного плодородия в пределах конкретных угодий и ускорению сроков поспевания почв, адаптивному размещению посевов в местах с наиболее высокими летними и зимними температурами. Крупнохолмистые ландшафты нуждаются во всемерном повышении уровня почвенного плодородия, оптимизации структуры угодий и посевных площадей, проведении противоэрозионных мероприятий.

Главный принцип при разработке каждого из элементов базовой модели системы земледелия (соотношения угодий, севооборотов, обработки почв, удобрений, защиты растений и т. д.) – это пространственно-дифференцированный подход к использованию тех или иных агроприемов и агромелиоративных мероприятий, которые способствовали бы повышению адаптационной способности культур к конкретным ландшафтным условиям. Поэтому особое внимание уделяется анализу микроландшафтного строения территорий – характеру чередования в пределах основных групп геокомплексов элювиальных, транзитных и аккумулятивных местоположений. При этом на агроэкологических полигонах опытным путем изучают особенности произрастания культурных и сорных растений в этих местоположениях. На основе опытных данных определяют набор культур, систему севооборотов, обработки почв, питания и защиты растений, отвечающие особенностям микроландшафтного устройства территории.

Производственные параметры моделей в большой мере зависят от агроэкологических особенностей агрогеосистем и связаны с ними через блок организации территории. Каждый тип категории земель в условиях конкретного модельного агроландшафта характеризуется определенным набором элементов системы земледелия, совокупность этих наборов в пределах агроландшафта определяет индивидуальность модельной ЛМСЗ (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Агротехнологические особенности базовых моделей адаптивно-ландшафтных систем земледелия

Наименование АГС	Лимитирующие факторы в земледелии	Элементы системы земледелия						Рекомендуемые агрометеорологические мероприятия
		Соотношение % от площади хозяйства	Система севооборотов	Система обработки почв	Система удобрений	Система защиты растений (интегрированная)	8	
Моренно-эрозионные равнины (опольные АГС)	Опасность эрозийного смыва, переувлажнения почв и просадочных процессов	3	4	5	6	7	8	
		Пашня 20-22 Сенокосы 5-6 Пастбища 12-15	Плодосменные на вершинах Зерноотравные на склонах	Отвальная с элементами минимализации Отвально-разноглубинная с элементами агромелиорации	Внесение больших доз извести и минеральных удобрений, умеренных доз цеолитов и органики Внесение поддерживающих доз извести, цеолитов, структуров, органических и минеральных удобрений	Сокращение химических обработок на 40-50 %		Противоэрозионные мероприятия, выборочный дренаж, планировка, предотвращение просадок грунта
Конечно-моренные гряды (крупноходные мистые АГС)	Близкое залегание морены, заболоченность, закаменность, пересеченность рельефа	18-20 Сенокосы 6-8 Пастбища 7-10	Плодосменные на вершинах Зерноотравные на склонах	Отвальная разноглубинная Почвозащитная (чизельно-отвальная)	Внесение больших доз извести, органических и минеральных удобрений Внесение поддерживающих доз извести, органических и минеральных удобрений	Сокращение химических работ на 30-40 %	Перераспределение поверхностного стока, противоэрозионные мероприятия, осушение, уборка камней	

Продолжение таблицы 1.7

1	2	3	4	5	6	7	8
Флювиогляциальные равнины (полевские АГС)	Заболачивание грунтовыми водами, низкая водоудерживающая способность, образование железистых водоупоров, высокая кислотность, низкое плодородие почв	Пашня 22-24 Сенокосы 7-8 Пастбища 9-10	Зерно-травяно-пропашные на вершинах	Комбинированная почвоулучшающая	Внесение больших доз извести, органических и минеральных удобрений, цеолитов, сидерация	Сокращение химических работок на 60-70 %	Осушение (с учетом зоны влияния), орошение, извешивание, восстановление, разрушение водоупоров, глинование почв
			Травяно-зерновые на склонах	Отвальная (с применением комбинированных агрегатов)	Внесение высоких и поддерживающих доз извести, органических и минеральных удобрений, цеолитов, сидерация		
Пойменные АГС	Загопление пагодками, короткий вегетационный период	Пашня 25-30 Сенокосы 50-55 Пастбища 18-22	Овощной (пропашно-травяной) в пределах центральной поймы	Отвально-разноглубинная с элементами минимализации	Внесение поддерживающих доз извести, органических и минеральных удобрений	Химические работы только в экстремальных случаях	Двустороннее регулирование водного режима, глукбокое рыхление тяжелых и слоистых почв

Экономический анализ базовых моделей ЛМСЗ позволяет расположить их в ряд по уровню рентабельности, окупаемости затрат и т. д. Выяснено, что наилучших результатов можно достичь при сельскохозяйственной эксплуатации пойменных и покровно-моренных геосистем, в то время как в пределах песчаных равнин будут наблюдаться наибольшие издержки производства [18].

1.3.3. Типовые системы земледелия

В процессе учета принципа многоуровненности биосферы элементы базовой модели ЛМСЗ подвергаются процедуре макро-дифференциации – приспособления их к условиям конкретной региональной системы земледелия. В результате этой процедуры базовая модель преобразовывается в типовую. Итогом макро-дифференциации базовых моделей является создание типовых моделей ЛМСЗ – гипотетических систем земледелия, учитывающих усредненные параметры типов агроландшафтов или их групп в пределах конкретного агроэкологического раздела. При этом параметры, разработанные для базовой модели, претерпевают известную коррекцию (могут измениться соотношение угодий, набор культур, система агро-мелиоративных приемов, способы реализации других элементов системы земледелия и т. д.). Макродифференциация осуществляется методом наложения зональных закономерностей на характеристики базовых моделей, отражающих прежде всего аональные черты географической оболочки.

Первым этапом типового моделирования является определение количества типовых моделей в пределах конкретной территории. При рассмотрении характера пестроты оролитогенной основы макротерритории можно выделить группу литогенно-однородных и литологически гетерогенных агроэкологических разделов. Литогенно-однородные АР характеризуются наличием в своих пределах только одной внетаксономической группы типов агроландшафтов, в то время как в литологически-гетерогенных АР этих групп несколько. Принадлежность территории к группе литогенно-однородных макроареалов позволяет при создании для нее адаптивно-ландшафтной системы земледелия обойтись весьма простым пакетом типовых моделей ЛМСЗ, в то время как в условиях литологически-гетерогенного АР необ-

ходимо разрабатывать типовые модели для различных литологических условий.

В связи с тем что конкретные типы агроландшафтов занимают в пределах АР ограниченную площадь, то в процессе макродифференциации базовых моделей проводится разделение территории агроэкологического раздела на агропроизводственные зоны – ареалы распространения конкретных типовых моделей ЛМСЗ. Следует отметить, что процесс макродифференциации базовых моделей может осуществляться в пределах не только всего АР, но и отдельных, достаточно крупных его частей.

Процесс макродифференциации параметров базовых моделей на сегодняшний день реализуется только качественным путем. Он осуществляется на основе такого изменения характеристик конкретной базовой модели (например, опольных агроландшафтов), которое позволило бы полностью учесть природные и производственные условия определенного агроэкологического раздела.

Например, на основе макродифференциации базовой модели ЛМСЗ опольных агроландшафтов могут получиться типовые модели ЛМСЗ ополей для различных агроэкологических разделов. Типовая модель ЛМСЗ опольных ландшафтов Смоленско-Московского АР существенным образом отличается от таковой для Владимирского ополья (Мещерский АР) набором культур и системой севооборотов вследствие разницы сумм температур и других агроклиматологических характеристик. Системой удобрений и защиты растений, интенсивностью применения противоэрозионных и агромелиоративных мероприятий и другими показателями различаются типовые модели полесий в пределах Мещеры и Днепро-Деснинского АР.

Принципы макродифференциации базовых моделей покажем на примере Калининского района, находящегося в центре Тверской области. Район расположен на территории Верхне-Волжского агроэкологического раздела хвойно-широколиственных лесов. Анализ параметров соответствующей региональной системы земледелия показал, что хозяйства района нуждаются в различных видах осушения, снижении доли пашни и площадей яровых зерновых, провоцирующих смыв почв. Зерновые культуры, лен и многолетние травы здесь чутко реагируют на агроклиматические условия, зерновые, картофель и многолетние травы – на

запасы фосфора в почвах, а однолетние травы и картофель – на балл почвенного бонитета (табл. 3, 4), поэтому зернопроизводящие хозяйства надо размещать в местах с минимальным ГТК, а льноводческие – в местах с максимальной континентальностью климата. Под все полевые культуры необходимо внесение больших доз фосфорных удобрений.

Для перехода от общих направлений коррекции зональной системы земледелия к разработке адаптивно-ландшафтной системы земледелия района необходимо проанализировать его природные условия на более низкой ступени иерархии агрогеосистем с привлечением фондовых данных по конкретным хозяйствам. Территория района образована восемью типами агроландшафтов. Больше трети его площади занимают плоские озерно-ледниковые равнины (тип агроландшафтов № 1). Они господствуют на севере и северо-востоке района. Около 5,0 % площади занимают пологоволнистые аллювиальные и зандрово-аллювиальные равнины (тип агроландшафтов № 2). Эти геокомплексы характерны для левого бережья Волги и Тверцы. В центре и на юге района встречаются зандровые равнины (тип агроландшафтов № 3). К ним примыкает полоса волнистых моренно-зандровых равнин (тип агроландшафтов № 4). С пятнами четвертого ландшафта на юго-западе района перемежаются ареалы крупнохолмистых валунно-суглинистых моренных равнин (тип агроландшафтов № 5). Часть района, ограниченная на севере и востоке долинами Тверцы и Волги, на юге ландшафтами № 4 и 5, а на западе Старицким районом, занята моренно-озерно-ледниковыми равнинами (тип агроландшафтов № 6). Долинные ландшафты, составляющие 17,4 % площади, в сельскохозяйственном производстве играют подчиненную роль. 11,1 % площади района занимают болота (рис. 1.12).

Все эти типы агроландшафтов можно объединить в три группы, условно названные «полесскими», «крупнохолмистыми» и «переходными». К «полесской» группе относятся территории с плоским рельефом и песчаными почвами. Это ландшафты № 1, 2 и 3. К «крупнохолмистым» ландшафтам, характеризующимся сильно пересеченным рельефом и господством валунных суглинков, можно отнести ландшафты № 4 и 5. К «переходным», где наблюдается плоский рельеф и чередование суглинистых и песчаных пород, – ландшафт № 6.

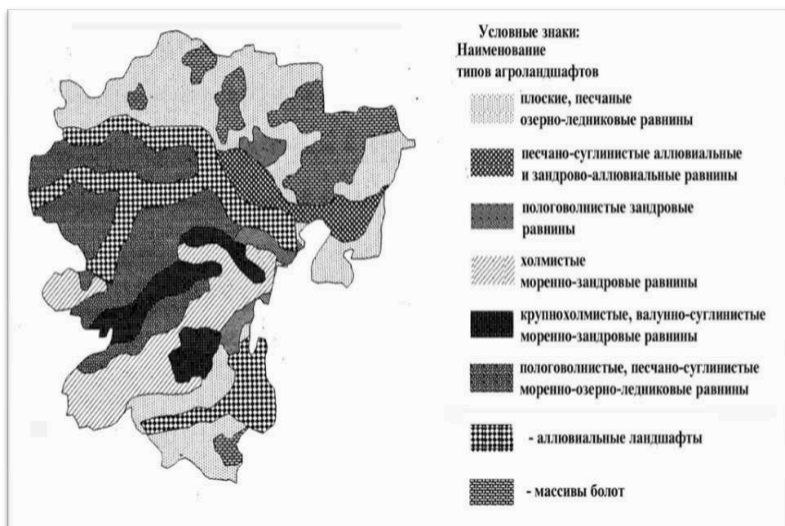


Рис. 1.12. Карта расположения типов агроландшафтов в пределах Калининского района (Ландшафтная карта Калининской области, 1990)

Совмещая ландшафтную карту района с картой расположения хозяйств, можно выяснить принадлежность конкретного хозяйства к определенной группе типов агроландшафтов. На основе этой группировки возможно для разработки ЛМСЗ хозяйства рекомендовать именно ту модель, которая наиболее адекватно отражает характер его природных условий. Изучение фондовых данных по хозяйствам позволило определить некоторые черты агропроизводственной среды выделенных групп геокомплексов. Можно сказать, что в ряду групп агроландшафтов от «полесских» до «переходных» наблюдается снижение площади хозяйств, увеличение доли сельскохозяйственных угодий и степени распаханности территории, что объясняется повышением потенциального плодородия почв. «Крупнохолмистые» ландшафты характеризуются заметным снижением доли сенокосных угодий вследствие закаменности почв, препятствующей уборке сена.

Сравнение реальной структуры угодий хозяйств с расчетными оптимальными параметрами (табл. 1.6) показывает, что во всех группах типов агроландшафтов наблюдается высокое антропо-

погенное давление вследствие неумеренной распашки почв. Так, в «полесских» ландшафтах оптимальная доля сельскохозяйственных угодий превышена на 8 %, в «крупнохолмистых» и «переходных» на 15–16 %. Потенциальные возможности ландшафтов гумидной зоны по степени распаханности оцениваются нами в 20–22 % их площади, поэтому избыточная распаханность в «полесских» ландшафтах составляет 12 %, в «крупнохолмистых» – 17 %, а в «переходных» – 18 %.

Во всех группах типов агроландшафтов наблюдается недостаток сенокосов, оптимальная доля которых должна составлять около 8 % от общей площади хозяйства. Доля пастбищ везде близка к оптимальной, поэтому практически во всех хозяйствах района необходимо часть пашни отвести под сенокосы. Залужаться должны участки пашни, расположенные в заболоченных местах, на крутых склонах, со сложным микрорельефом, почвенным покровом, литологией и т. д.

Максимальная пестрота размеров пахотных угодий наблюдается в «полесских» агроландшафтах ($V\% = 49$), а минимальная – в «крупнохолмистых» ($V\% = 21$). Это объясняется мелкоконтурностью слабозаболоченных земель в полесьях, тогда как пахотно-пригодные массивы в пределах моренных гряд располагаются на вершинах и пологих склонах, занимающих значительные площади. Следовательно, в «полесских» ландшафтах необходимо проводить выборочное осушение заболоченных территорий, разделяющих массивы пашни. В «крупнохолмистых» и «переходных» ландшафтах надо также осуществлять комплексную мелиорацию, основой которой является культуртехника.

Вариабельность площадей сенокосов имеет максимум в «крупнохолмистых» агрогеосистемах ($V\% = 100$) вследствие хаотичного расположения закамененных участков, а минимум ($V\% = 67$) в «полесских» агроландшафтах, так как на нее мало влияет степень заболоченности почв. ЛМСЗ Калининского района должна включать в себя мероприятия по окультуриванию пастбищ и сенокосов – уборку камня и выравнивание микрорельефа в пределах «крупнохолмистых» и «переходных» ландшафтов и поверхностное осушение в «полесских».

«Переходные» ландшафты характеризуются заметным подкислением почв за счет сильной их заболоченности. Эта причина объясняет и повышенное содержание фосфора, который в ана-

эробной среде образует слаборастворимые соединения и закрепляется в почве, что способствует снижению его усвояемости растениями. Здесь необходимы известкование и регуляция поверхностного стока. В «полесских» и особенно «крупнохолмистых» ландшафтах наблюдается пониженное содержание фосфора вследствие значительной выщелоченности песков и валунных суглинков. На данных территориях актуально внесение высоких доз фосфорных удобрений. Вариабельность кислотности почв повсеместно не превышает 3 %. Наиболее равномерное распределение основных элементов питания наблюдается в «переходных» ландшафтах (V% по калию = 14, по фосфору = 11). «Полесские» агроландшафты характеризуются максимальной вариабельностью содержания калия в почвах (23 %), а «крупнохолмистые» – фосфора (23 %), что объясняется особенностями их литогенной основы. Этот факт надо учитывать при размещении посевов.

Территория Калининского района в производственном отношении может быть разделена на 4 агропроизводственных зоны: 1 – занимающая крайний северо-восток и юг района; 2 – расположенная между первой зоной и левобережьем Волги и Тверцы, а также в южной части района; 3 – занимающая северо-запад района и 4 – расположенная на юго-западе района (рис. 1.13).

Облик ландшафтов первой зоны образован крупными массивами болот в пределах плоской озерно-ледниковой равнины. Сельскохозяйственное производство здесь может осуществляться только после дорогостоящих мелиоративных работ, поэтому в настоящее время наилучшим способом ее эксплуатации является развитие различных видов туризма, заповедного дела и рекреации (табл. 1.8).

Поверхность второй зоны образована сильно заболоченными водно-ледниковыми равнинами. Эта зона характеризуется наиболее оптимальными агроклиматическими условиями для произрастания зерновых культур и льна (максимальная в районе континентальность климата и минимальный ГТК). Преимуществом также является практическое отсутствие эрозионных процессов, позволяющее возделывать весь спектр культур гумидной зоны, однако предпочтение здесь надо отдавать зернотравяным и плодосменным севооборотам со льном. Негативными факторами являются низкое плодородие и заболоченность почв. Перевод части низкопродуктивной пашни под сенокосы позволит заметно

снизить влияние негативных факторов на земледелие. Кроме этого, здесь рекомендуется проводить целый спектр комплексно-мелиоративных мероприятий, предусмотренных моделью ЛМСЗ «полесских» ландшафтов.

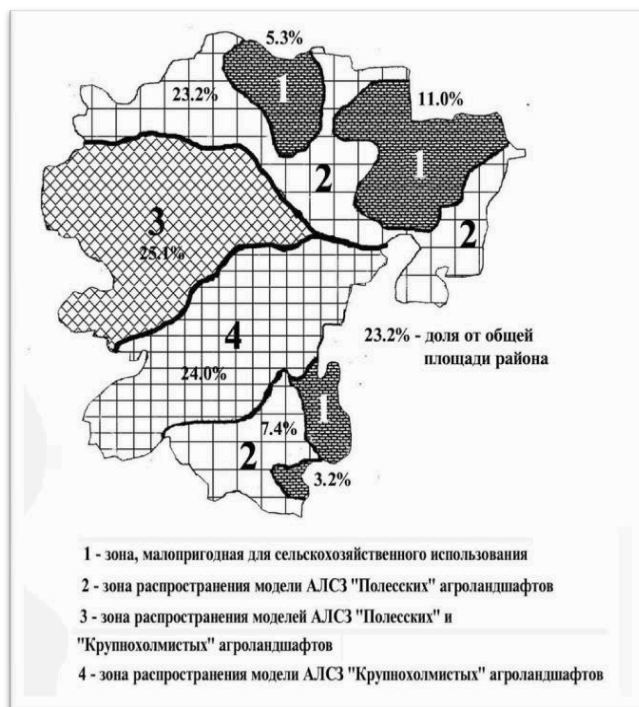


Рис. 1.13. Расположение агропроизводственных зон в пределах Калининского района Тверской области

Чередование участков волнистого рельефа с плоскими пространствами, сложенными песками в пределах третьей зоны, предполагает для разработки систем земледелия хозяйств использовать модели ЛМСЗ как «полесских», так и «крупнохолмистых» ландшафтов. Термические условия здесь довольно благоприятны для произрастания льна и зерновых. Однако, во-первых, здесь необходимо часть площади, занятой под яровыми зерновыми, отводить под озимые культуры и травы с целью уменьшения эрозионных процессов; во-вторых, доля льна в структуре посевных площадей должна быть несколько ниже, чем во второй зоне

вследствие менее благоприятных для него литологических, орографических и агроклиматических условий. Комплекс мелиоративных воздействий должен быть расширен за счет культуртехнических и противозерозийных мероприятий.

Таблица 1.8

**Основные черты ЛМСЗ агропроизводственных зон
Калининского района Тверской области**

№ зоны	Площадь, %	Группа типов агроландшафтов	Наиболее адекватные базовые модели ЛМСЗ	Оптимальная специализация	Направление трансформации		
					соотношения угудий	структуры посевных площадей	мероприятий комплексной мелиорации
1	19.5	Полесские	Земли малопригодные для сельскохозяйственных целей. Возможно использование в целях лесного хозяйства, туризма и рекреации				
2	30.6	Полесские	Полесская	Льноводство и мясомолочное животноводство	Перевод малопродуктивной пашни в сенокосы	Отведение лучших земель под зерно-травяно-льняные севообороты	Выборочное осушение, внесение органики, планировка микрорельефа
3	25.1	Переходные	Полесская + крупнохолмистая	Мясомолочное животноводство и льноводство	Перевод малопродуктивной пашни в сенокосы, залесение отдаленных массивов	Преобладание плодосменных севооборотов с элементами биологизации	Выборочное осушение, культуртехника, известкование
4	24.0	Крупнохолмистые	Крупнохолмистая	Мясомолочное животноводство	Перевод малопродуктивной пашни в сенокосы, залесение отдаленных массивов	Преобладание плодосменных и травянозерновых севооборотов	Выборочное осушение, противозерозийные мероприятия, культуртехника

Четвертая зона характеризуется наиболее сложным ландшафтным устройством, что способствует развитию пестрого почвенного и растительного покрова. Агроклиматические условия здесь наименее благоприятны для произрастания зерновых и льна. Большую актуальность имеет сокращение доли яровых зерновых и картофеля в структуре посевных площадей для снижения интенсивности эрозионных процессов. Для этой зоны необходима разработка программ по залужению склонов крутизной $>3^\circ$, а также территорий с мозаичным почвенным покровом. Под плодосменные севообороты можно отводить плоские водоразделы, а на склонах крутизной до 3° – размещать почвозащитные травяно-зерновые севообороты. Наиболее важны противоэрозионные мероприятия и культуртехника. Основой для разработки системы земледелия хозяйств этой зоны служит базовая модель «крупнохолмистых» ландшафтов (табл. 1.7).

Параметры типовой модели ЛМСЗ через процедуру микродифференциации переносятся в условия реального хозяйства, что является начальным этапом разработки его системы земледелия. Типовая модель описывает общий характер производства в нескольких близкорасположенных хозяйствах. Несмотря на их территориальную близость и генетическое сходство ландшафтов в их пределах, они характеризуются известной индивидуальностью как в природном, так и в производственном отношении. При этом одни из них ближе к условиям типовой модели, а другие дальше. Когда условия хозяйства близки к модельным, процедура переноса параметров типовой модели в ее условия осуществляется методом интерполяции, в случае неполного совпадения перенос осуществляется методом экстраполяции. Определение способов переноса параметров типовых моделей ЛМСЗ в условия конкретных хозяйств основывается на использовании методов теории физико-географического прогнозирования и определении степени генетического родства (ОГР) хозяйства и модели.

Процедура ОГР состоит из трех этапов: 1) экспертного; 2) морфологического; 3) классификационного.

Экспертный этап является составной частью методики «экспертных решеток» и, будучи первым и важнейшим звеном ОГР, дает ее качественную оценку.

Суть методики «экспертных решеток» заключается в следующем.

1. Выбирают любое количество факторов сравнения ПТК (в случае если число факторов превысит 3, выявление генетических группировок ландшафтов производят с помощью компьютера).

2. На основе анализа легенды ландшафтной карты создают ряды ПТК по степени изменения факторов. Например, если выбраны факторы пересеченности рельефа и гранулометрического состава почв, то создаются два ряда ПТК – в одном из них геокомплексы расположены по мере возрастания разностей относительных высот (от пластовых равнин до конечно-моренных гряд), а в другом – по мере утяжеления породы (от рыхлых песков до тяжелых суглинков).

3. Строится диаграмма, координатными осями которой являются выделенные ряды. Совокупности точек на двух- или трехмерной диаграмме будут генетическими группировками ландшафтов, а центральные точки в пределах совокупностей – «генетическими ядрами».

Полигоны ЛПО необходимо располагать в пределах ландшафтов, условия которых соответствуют «генетическим ядрам».

Процесс определения генетического родства модели и хозяйства основан на том, что определяются их координаты в пределах одной экспертной решетки. Если координаты модели и хозяйства полностью совпадают, то экспертное расстояние между ними будет равно нулю.

Интерполяция (ближний перенос) применяется при переносе параметров типовой модели в хозяйство, расположенное в генетически однотипной с моделью территории (экспертное расстояние модели и хозяйства-прогноза равно 0). Этот режим характеризуется неизменностью модельного набора категорий земель при создании системы земледелия.

Режим экстраполяции применяется при переносе параметров модели в условия отдаленно родственной территории (экспертное расстояние модели и хозяйства-прогноза больше 0). Он предполагает в основном качественный перенос самых общих закономерностей, положенных в основу построения модели, в условия реального хозяйства. Количественный перенос в этом режиме осуществляется с помощью имитационных моделей, которые позволяют экстраполировать результаты исследований, полученные на стационаре в ходе ЛПО, на другие, существенно отличающиеся от него территории. Возможности экстраполяции

с помощью имитационных моделей не безграничны, однако в пределах агроэкологического класса этот прием вполне оправдан. Из этого следует, что в пределах каждого агроэкологического класса необходимо создавать стационар ЛПО, а также базовые модели ЛМСЗ.

Для получения количественных характеристик родства АГС производят их морфологический анализ. В ходе его выявляется количество и площадь природных комплексов более низкого ранга, слагающих сравниваемые территории. Простейшей количественной характеристикой степени родства двух геосистем выступает доля их общей площади, занятой классификационно-однотипными природными комплексами. Для практических целей достаточно сравнить площади основных АМЛ, чтобы количественно представить себе различия между моделью и территорией реального хозяйства. На основе морфологического анализа территории хозяйства определяется долевое участие АМЛ в его структуре. Проводится коррекция соотношения угодий.

Классификационный этап позволяет вычленить ландшафтно-экологические ниши, в пределах которых возможно корректное применение функционально-статистических зависимостей урожайности от факторов среды, полученных в пределах агроэкологических стационаров. Это делается для прогнозирования урожайности запланированных для производства культур и коррекции на этой основе их набора, структуры посевных площадей, систем обработки почв, питания и защиты растений, агроメリоративных приемов.

В ходе процедуры макродифференциации параметров базовой модели сравнивали параметры базовой модели системы земледелия опольных агроландшафтов и РСЗ Вятско-Камского агроэкологического раздела южной тайги. Сравнение может проводиться только в рамках одних и тех же культур и одних и тех же факторов. Если сравнить количество культур, зависящих от конкретного фактора, как в рамках типа агроландшафтов, так и в пределах АР, то можно определить индивидуальные и универсальные черты типовой модели ЛМСЗ.

Индивидуальные отличия типовой модели опольных агроландшафтов Вятско-Камского АР южной тайги от соответствующей базовой модели заключаются в очень сильном влиянии в пределах АР на продукционный процесс кислотности почв, доли

яровых зерновых в структуре посевных площадей, соотношения луга к пашне и перепада высот в пределах хозяйства. Разрабатываемая типовая модель также отличается от базовой значительно меньшим влиянием степени переувлажнения почв на продуктивность культур.

Менее яркие индивидуальные черты типовой модели проявляются во влиянии гранулометрического состава и бонитета почв на продуктивность культур. Для типовой модели характерно влияние на продуктивность ряда культур параметров соотношения угодий, а также структуры посевных площадей.

Универсальными факторами служат влияние калийных и фосфорных удобрений и гумуса на продуктивность растений, доля пропашных культур в структуре посевных площадей, доля несельскохозяйственных территорий в структуре угодий агроландшафта и продолжительность вегетационного периода.

Итак, при разработке данной типовой модели адаптивно-ландшафтной системы земледелия надо отталкиваться от базовой модели опольных ландшафтов (табл.1.7), которую необходимо в зависимости от набора культур трансформировать в плане изменения соотношения угодий (доля пашни – оптимальная при соотношении луг/пашня – 0,3, доля сенокосов 8–9 %, доля пастбищ – потенциальная, доля несельскохозяйственных территорий – оптимальная для ополей); структуры посевных площадей (доля яровых зерновых 30–40 %, пропашных 10–15 % и трав 45–60 %). Надо предусмотреть известкование почв под большинство культур, внесение высоких доз калийных и фосфорных удобрений.

1.3.4. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия конкретных хозяйств

Процесс проектирования ЛМСЗ покажем на примере Фаленской селекционной станции (СС) Зонального НИИ сельского хозяйства Евро-Северо-Востока. При разработке ЛМСЗ конкретного хозяйства необходимо подробно изучить его ландшафтные условия. Климат Фаленской СС среднеконтинентальный (168 %) с умеренным режимом увлажнения (ГТК – 1,37). Сумма температур выше 10 °С на южных склонах достигает 1900 °С, а на северных склонах и пониженных местах – около 1700 °С, что позволяет выращивать здесь среднеранние культуры умеренного пояса: озимую рожь, овес, ячмень, зернобобовые, травы, овощи, карто-

фель, пшеницу и лен. Длительность вегетационного периода – от 141 до 198 дней. Продолжительность периода вегетации со средней суточной температурой выше 10 °С короткая – 115–120 дней. Весенние заморозки в воздухе заканчиваются в среднем 20–25 мая, на почве – 31 мая – 3 июня. Сроки поспевания почвы – 6–10 мая. Среднегодовое количество осадков составляет 550 мм, обеспеченность влагой в период активного роста растений характеризуется как умеренная. Выпадение осадков по годам неравномерное. Вероятность избыточно влажных лет в среднем за вегетационный период составляет 21 %, влажных – 30 %, а оставшиеся годы – с недостаточным увлажнением. Среднее число дней с суховейными явлениями за вегетационный период составляет 16–20. Суховей сопровождается температурой выше +20 °С и относительной влажностью воздуха в дневные часы меньше 30 %, что усиливает эвапотранспирацию.

По характеру литогенной основы территория хозяйства представляет собой холмисто-увалистую равнину на покровных и моренных суглинках. Абсолютные высоты достигают 180 м, перепады высот – около 20 м. Овражная сеть развита слабо. Долинами многочисленных ручьев и рек равнина рассечена на небольшие водосборы с преобладанием склонов крутизной до 3–5 °. Доминантными агромикрорландшафтами являются транзитные (60,6 %), среди которых транзиты восточной экспозиции занимают 40, северной – 31, южной – 21, западной – 8 %. Эрозионным процессам, в основном слабой интенсивности, подвержены 32 % площади хозяйства.

Облесенность территории станции в настоящее время не превышает 19 %. Лесные массивы сохранились только в пониженных местах и на склонах, тем не менее присутствие лесных массивов вблизи отдельных участков пахотных угодий формирует их особый микроклимат.

Глубина залегания грунтовых вод зависит от геологического строения и рельефа местности. На водоразделах и склонах грунтовые воды находятся глубоко (от 2 до 10–20 м), их влияние на процессы почвообразования ослаблено. В низинах, лощинах, долинах ручьев, рек и рек грунтовые воды находятся на небольшой глубине (0,6–0,8 м), иногда выходят на поверхность, обуславливая переувлажнение и формирование оглеенных и заболоченных почв.

В структуре землепользования преобладают пахотные угодья (64 % – 3,2 тыс. га). На них представлены пять типов почв и две разновидности по гранулометрическому составу. Основным фоновым почвенным покровом хозяйства служат дерново-подзолистые почвы тяжелого гранулометрического состава. Пахотные горизонты почв мощностью 0,15–0,30 м, большей частью среднесуглинистые (содержание физической глины – 37,1 %).

Характерные особенности температурного режима почв: резкое охлаждение поверхностных горизонтов почвы в конце мая – начале июня до 5–12 °С на протяжении 7–12 дней. Яровые зерновые культуры в это время находятся в фазе кущения или выхода в трубку, что отрицательно отражается на урожае.

Весеннее промачивание всего почвенного профиля в процессе снегостояния происходит не ежегодно и зависит от глубины промерзания почвы, которая изменяется от 60–65 до 100–160 см в морозные и малоснежные зимы. Ко времени схода снежного покрова почва оттаивает на глубину 15–20 см. Снег сдувается в пониженные места, и в начальные фазы вегетации яровых зерновых культур (июнь) запасы продуктивной влаги на возвышенных и склоновых местах нередко не обеспечивают потребности растений. В то же время в слое 0,5–1,0 м обычно сохраняется влага в достаточном количестве, но она труднодоступна для культурных растений.

Почвенное плодородие характеризуется следующими средневзвешенными показателями: гумус – 2,7 %; pH – 5,3; P₂O₅ – 275 мг/кг; K₂O – 160 мг/кг. Характерной особенностью почв является высокое содержание обменных форм алюминия в верхних горизонтах, которое может достигать 35 мг/100 г почвы. В настоящее время оптимальное содержание гумуса, составляющее для основных сельскохозяйственных культур 2–3%, имеет 79 % исследуемой пашни, 21 % обладает повышенным содержанием гумуса. Низким содержанием P₂O₅ и K₂O характеризуется около 8 % всей пашни.

На морфологическом этапе исследований в пределах Фаленской СС выделены следующие агромикрорландшафты: элювиальные – занимающие 3 % площади хозяйства, элювиально-аккумулятивные – 2,2 %, элювиально-транзитные – 5,5 %, транзитные – 60,6 %, транзитно-аккумулятивные – 28,7 %. Прослеживается обеднение подвижными формами фосфора и калия

элювиальных и в большей степени транзитных агромикрорландшафтов на пашне.

Местоположение агромикрорландшафтов отражается на свойствах как пахотных слоев, так и подпахотных горизонтов. Исходя из имеющихся данных, можно сказать, что в наиболее возвышенных местоположениях формируется профиль с максимальным уровнем почвенной кислотности уже с глубины 28 см (рНксл – 3,7; Al, мг/100 г – 32,9, Нг – 10,8 мг-экв/100 г). Об интенсивном развитии подзолистого процесса до глубины 47 см свидетельствует накопление обменных форм алюминия в средней части почвенного профиля (41,5 мг/100 г).

Пахотным угодьям данного хозяйства свойственна пространственная неоднородность параметров рельефа (экспозиции, уклоны, абсолютные высоты) и почвенного плодородия. Особенностью элювиальных и, прежде всего, транзитных АМЛ Фаленской СС является возрастание содержания в корнеобитаемом слое соединений подвижного алюминия. В связи с этим здесь наряду с противоэрозионными мероприятиями необходимо возделывание кислото- и алюмоустойчивых сортов сельскохозяйственных культур и проведение периодического известкования почв. Несмотря на большую пестроту почвенных условий, землепользование на территории указанной СС осуществлялось на основе лишь двух полевых и одного кормового севооборотов. В 80-е годы объем валовой продукции, запланированный на Фаленской станции, обеспечивался 8-польным севооборотом: 1) чистый пар; 2) озимая рожь; 3) овес с подсевом многолетних трав; 4) многолетние травы I г. п.; 5) многолетние травы II г. п.; 6) озимая рожь; 7) овес; 8) ячмень.

Средняя урожайность озимой ржи составляла 2,57 т/га, ячменя – 2,54, овса – 2,78 т/га. В последние годы севооборот нарушен, поддерживается только биологически обоснованное чередование сельскохозяйственных культур. Средняя урожайность сельскохозяйственных культур за последние 11 лет составила для озимой ржи – 3,44, ячменя – 3,52, овса – 3,79, пшеницы – 3,55, картофеля – 22,1 т/га. Рост урожайности стал возможным благодаря появлению новых высокопродуктивных адаптивных сортов. Например, уже в первый год внедрения кислото- и засухоустойчивый сорт овса Аргамак превысил по урожайности прежний сорт Фаленский 3 на 1,67 т/га. Но диапазон колебаний урожайности

сти у нового сорта за 6 лет возделывания составил 2,78–4,9 т/га в зависимости от природных условий года. Кроме того, вследствие неоднородности агромикрорландшафтных условий на конкретном поле при равной агротехнике урожайность сорта изменялась от 2,60 до 4,52 т/га.

С помощью статистического анализа на опытном поле выделены пространственно-гомогенные АОТ с достоверно низкой продуктивностью этого сорта. В ее пределы входят агромикрорландшафты средних частей восточных и южных склонов, менее увлажненные, с заметным развитием эрозионных процессов, а также агромикрорландшафты склонов северо-восточной и северо-западной экспозиции с недостаточной освещенностью и продуктивностью посевов из-за близости лесополос. Реакция овса на условия возделывания зависела от обеспеченности элементами питания и режима увлажнения пахотного слоя. С этих позиций оказались предпочтительны агромикрорландшафты северных экспозиций с достаточной калийной и фосфатной обеспеченностью почвы и лучшим для него соотношением тепла и влаги, где его урожайность достигает 4,5 т/га.

При возделывании на опытном участке клевера лугового сорта Дымковский максимальная продуктивность (3,59–3,91 т/га сухого вещества в фазу бутонизации) получена в нижних частях склонов с относительно низким содержанием подвижных форм алюминия в профиле почв и признаками их временного переувлажнения. Это вполне объяснимо, так как клевер – влаголюбивая культура с очень высокой чувствительностью к подвижному алюминию.

На основе анализа особенностей агромикрорландшафтов опытного поля Фаленской селекционной станции можно сделать следующие выводы.

Для культур с глубокой корневой системой неблагоприятны агромикрорландшафты верхних и средних частей склонов с высоким содержанием подвижного алюминия и низкой фосфатной обеспеченностью в средней части почвенного профиля.

Для чувствительных к кислотности культур с корневой системой, располагающейся в пахотном слое, менее благоприятны по кислотности агромикрорландшафты нижних частей склонов.

Для зимующих и яровых культур, чувствительных к переувлажнению, в годы с избыточным увлажнением представляют

опасность агромикрорландшафты с глееватыми и глеевыми почвами.

Для культур, чувствительных к засухе, благоприятны агромикрорландшафты с повышенным содержанием обменного калия, а также участки с возможным временным переувлажнением либо поля, расположенные на склонах северной экспозиции.

Термические условия данного хозяйства в целом малоблагоприятны для выращивания большого спектра зерновых культур и близки к оптимальным лишь для картофеля, поэтому для адаптации расположения посевов яровой пшеницы, ячменя и озимой ржи необходимо использовать данные морфологического устройства агроландшафтов хозяйства. Только на склонах теплых экспозиций (южных и западных) возможно успешное выращивание зерновых. Картофель необходимо размещать на плоских вершинах (в пределах элювиальных, элювиально-аккумулятивных и элювиально-транзитных АМЛ). На северных и восточных склонах можно располагать зернотравяные севообороты с овсом, то есть под зернопропашные севообороты возможно по максимуму отвести 451 га, при этом 93 га из них нуждаются в мелиоративном вмешательстве (прежде всего регуляция поверхностного стока – узкозагонная вспашка, выборочное бороздование, кротование и т. д.). Под зернотравяные севообороты с преобладанием озимой ржи, ячменя и яровой пшеницы можно отвести максимум 609 га, так как около 85 га склонов с крутизной более 3° необходимо залужить. Эти севообороты должны иметь биологизированный и почвозащитный характер, то есть содержать 2–3 поля многолетних трав, а также выводные поля. На северных и восточных склонах (площадь 1871 га) возможно расположение зернотравяных севооборотов с овсом и горохом, при этом размер контура поля должен приближаться к 40 га. В целом по севооборотам доля яровых зерновых должна составлять 30–40 %.

Хозяйство характеризуется пониженным отношением луга к пашне при оптимальном его значении – 0,3, поэтому долю пашни здесь необходимо сократить за счет залужения значительных площадей на северных и восточных склонах. Доля сенокосов должна составлять 8–9 % сельскохозяйственных угодий. Обработка почв не должна в корне отличаться от таковой в базовой модели [16]. Система удобрений должна быть нацелена на интенсивное известкование пашен, причем на южных склонах надо

поддерживать рН почв около 5,4, а на северных до 6,0. Необходимо повсеместное внесение больших доз калийных и фосфорных удобрений, в то время как пополнение почв органикой возможно за счет запахивания сидератов. Защита растений обычная для агротехнологии культур [16].

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия разрабатываются с конца 80-х годов. Академик В.И. Кирюшин отмечает: «...в отличие от традиционной организации территории, сложившейся на принципах директивного размещения угодий, жесткого планирования структуры посевных площадей, укрупнения полей севооборотов, выравнивания границ и в целом упрощения структуры агроландшафта, адаптивная система предполагает:

достижение оптимального соотношения между пашней, лугами, пастбищами, лесом, водоемами на основе объективных критериев;

обеспечение устойчивости агроэкосистем за счет рационального размещения производства и разумной специализации, противоэрозионной организации территории, создания «природоохранного скелета» в виде заповедных, водоохраных, рекреационных, санитарно-гигиенических зон наряду с полезащитными и другими лесонасаждениями, экологически обоснованных мелиораций, выравнивания свойств комплексных и мозаичных почв;

оптимизацию размещения технологических рубежей (границ полей, рабочих участков, дорог и т. п.) по принципу наименьшей эрозионной опасности;

создание системы убежищ естественной флоры и фауны (рефугиумов);

нормирование техногенной нагрузки.

Такой подход требует качественно иной картографической основы, развития методов почвенно-агроландшафтной съемки, новых приемов разработки проектно-сметной документации, оптимизационных моделей, пакетов программ для реализации их на персональных компьютерах, гибких проектных решений с учетом рыночной конъюнктуры.

Для разработки проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия в составе комплексных проектов ведения хозяйства потребуется организация земельной службы путем интеграции землеустроительной, агрохимической, мелиоративной и других служб.

Учитывая сложность проблемы, следует определить этапность ее решения, избегая революционных ломок, используя имеющиеся достижения и лучшие традиции».

При разработке проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия исходным материалом должны быть почвенно-ландшафтная карта, на которой показаны элементарные ареалы агроландшафта, и банк данных, содержащий агроэкологические характеристики каждого ЭАА в соответствии с агроэкологической классификацией земель.

На основе этой карты составляют карту агроландшафтных типов земель. При объединении ЭАА в агроэкологический тип земель не следует забывать о том, что эта процедура выполняется с учетом как биологических требований культуры, так и технологических особенностей возделывания и экологической устойчивости участка. Например, картофель одинаково хорошо удается на окультуренных среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах и на торфяно-болотных осушенных. Однако в связи с быстрой сработкой торфа использование последних под картофель снижает экологическую устойчивость участка и должно рассматриваться как исключение. Соответственно названные объекты относятся к разным типам «картофельных» земель.

К разным типам «свекольных» земель, например, должны быть отнесены дерново-карбонатные и окультуренные дерново-подзолистые почвы, поскольку поддержание плодородия последних связано с периодическим их известкованием в отличие от первых.

Формирование полей севооборотов следует осуществлять в пределах контуров, отвечающих агроэкологическим типам земель. Возможно проектирование полей с привлечением земель, близких по биологическим требованиям культур или группы культур, но различающихся по технологиям возделывания. Тогда в пределах поля выделяют рабочие участки, строго соответствующие агроэкологическим типам земель. С учетом этого агротехника культуры на разных участках будет различаться.

Разумеется, помимо соответствия агроэкологическим условиям возделывания культур рабочие участки должны отвечать и организационно-экономическим требованиям, в частности обеспечивать эффективное использование машинно-тракторных агрегатов. Однако если до последнего времени при проектировании

рабочего участка и тем более севооборотного поля исходили из приоритета эффективного использования сельскохозяйственной техники, то в адаптивно-ландшафтном земледелии в качестве приоритета выступает адекватность технологий экологическим условиям. При ее достижении конечный экономический результат оказывается более высоким, ибо использование техники на больших полях с длинными гонами, но с большой экологической пестротой заставляет в несколько приемов проводить посевную и уборочную кампанию, нести издержки от несвоевременной обработки почвы, посева, уборки урожая из-за разновременности последействия почвы, созревания растений и т. д. Размеры полей и рабочих участков определяют на основе совокупности агроэкологических факторов, технологических условий, производительности машинно-тракторных агрегатов, их технических параметров (тип, ширина захвата, радиус поворота и т. д.) [14].

При наличии многих общих моментов между описанными методами разработки ЛМСЗ хозяйства существует немало принципиальных различий.

Принципы разработки ЛМСЗ, предложенные нами, основаны на учете иерархической парадигмы агрогеографии. Основой разработки ЛМСЗ хозяйства является типовая модель, которая, в свою очередь, есть результат сопоставления параметров РСЗ и соответствующей базовой модели. Академик Кирюшин предлагает разрабатывать проект, непосредственно анализируя условия конкретного хозяйства, обращая мало внимания на их взаимосвязь с агрогеосистемами более высокого уровня.

Нами при разработке ЛМСЗ хозяйства предполагается учитывать фитоцентрическую и геосистемную парадигмы, что выражается в создании двух независимых картографических слоев – слоя микроландшафтного строения территории и слоя топографии посевов, в результате сопоставления которых выясняются основные агропроизводственные закономерности. Подход академика Кирюшина предполагает создание лишь одного картографического слоя – карты ландшафтно-почвенного строения территории. Исходя из характеристик элементарных ячеек этого слоя прогнозируется урожайность культуры.

Элементарной ячейкой слоя микроландшафтного строения территории в нашем понимании является агромикроландшафт – элементарный геохимический ландшафт (ЭГЛ) – подурочище.

Эта ячейка имеет четко выраженные и постоянные природные рубежи, так как относится к базовому ярусу агрогеосистемы. Элементарный агроареал по Кирюшину совместим с ЭПС или ЭПА, границы которых весьма условны и изменчивы, так как почвенный покров является частью модификационного яруса АГС и испытывает значительные эволюционные изменения при антропогенном воздействии.

Процедура прогнозирования урожайности культур в русле нашего подхода основана на создании математических моделей зависимости продукционного процесса культур от изменчивости ландшафтных условий агроэкологического стационара с последующим использованием их при расчете урожайности в пределах хозяйства (процедура переноса). По Кирюшину прогноз урожайности в пределах ЭАА ведется на основе сопоставления его экологических свойств и агротребований растений. Для этого также используется методика прогнозирования урожайности.

Сравнивая оба подхода, следует сказать, что они являются альтернативными и оба могут быть использованы на практике. Отметим, что метод, описанный нами, требуя больших начальных затрат (закладка агроэкологических полигонов, исследования на них), на уровне хозяйств гораздо более дешев и производителен, чем подход В.И. Кирюшина, так как не нуждается в детальной ландшафтно-почвенной съемке территории хозяйства.

В заключение следует упомянуть и о других методах разработки ЛМСЗ, реализуемых в основном в центральном Черноземье. Это прежде всего системы, разрабатываемые в Воронежском агроуниверситете [24, 25], Белгородской сельскохозяйственной академии [23, 22] и ВНИИЗиЗПЭ [47]. Теоретические предпосылки данных авторских коллективов весьма просты и достаточно полно описаны в работе академика О.Г. Котляровой [23], которая указывала: «В целом ландшафтное земледелие может быть описано четырьмя системами земледелия:

Интенсивная – на ландшафтных полосах с несмытыми почвами с крутизной склонов от 0 до 3°.

Почвозащитная – для ландшафтных полос со слабосмытыми почвами при крутизне склонов 3–5°.

Биологическая – для ландшафтных полос со средне и сильносмытыми почвами с крутизной склона более 5°.

Рекультивационная – для средне- и сильносмытых сенокосно-пастбищных угодий с выходами подстилающих пород, «бросовых земель» и т. д.

Эти четыре системы земледелия могут быть использованы в ландшафтных условиях различных регионов с изменяющимся соотношением их в зависимости от рельефа, интенсивности развития эрозийных процессов, почвенно-климатических условий, экологической устойчивости антропогенно-сформированных агроландшафтов» [23]. Простота предлагаемого подхода продиктована тем обстоятельством, что основным деградационным процессом в черноземных областях является эрозия почв.

Подход профессора Лопырева [24, 25] заключается в разработке серии сценариев – каталога систем земледелия для различных ландшафтных и производственных условий Черноземья. Он предлагает максимально автоматизировать процесс адаптации систем земледелия к ландшафтным условиям.

Широкий спектр подходов к разработке ландшафтных систем земледелия говорит об актуальности этого вопроса. Достаточно много проектов реализовано на практике, экономический анализ показал рентабельность и эффективность адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

1.4. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия конкретных хозяйств на основе результатов ландшафтно-полевого опыта

Изучение адаптивных реакций растений на разнообразные условия природной среды требует определенной коррекции методики опытного дела. Отличие ландшафтно-полевого опыта от классического полевого опыта заключается в отходе от принципа максимальной однородности территории опыта. В сферу интересов ЛПО входит изучение как управляемых, так и неуправляемых факторов, влияющих на продукционный процесс растений.

Целью ЛПО является изучение пространственной и временной вариабельности продуктивности (и других проявлений жизнедеятельности) культур в пределах агроэкологического стационара, отражающего типичную ландшафтную обстановку конкретной крупной территории.

Основной гипотезой ЛПО является предположение, что установление закономерностей изменения продуктивности культур

в пределах агроландшафта позволит разработать приемы выделения территориально-экологических ниш, однородных в производственном отношении (агроэкологически-однотипных территорий) и распространить эти приемы на репрезентативные территории.

ЛПО характеризуется четкой организованностью во времени и пространстве. Уже при организации стационара проводятся определенные исследовательские работы. ЛПО состоит из трех этапов:

1. Начальный (рекогносцировочный), включающий выбор типичного местоположения, исследование всех компонентов природного комплекса, составление его микроландшафтной карты, а также дробный учет серии уравнительных посевов.

2. Основной (трансектный), заключающийся в исследовании адаптивных реакций растений на пространственно-временное изменение ландшафтной обстановки в пределах профилей-трансект, пересекающих все микроландшафтные позиции стационара, с целью выделения агроэкологически-однотипных территорий.

3. Заключительный (технологический), состоящий в закладке серии «локальных» севооборотов в пределах агроэкологически-однотипных территорий с целью определения для их условий оптимального набора элементов систем земледелия.

При выполнении рекогносцировочного этапа ЛПО необходимо придерживаться следующих правил.

Учет бассейнового принципа – границы стационара должны строго совпадать с линиями местных водоразделов или тальвегов, то есть агроэкологический стационар должен включать в себя цельную систему взаимосвязанных фаций. Это необходимо для того, чтобы: а) контролировать основные геохимические потоки в пределах агроландшафта; б) иметь возможность целиком исследовать территорию урочищ, подурочищ и фаций, расположенных на территории стационара; в) иметь возможность изучения всего спектра адаптивных реакций конкретного растения; г) образовать систему локальных севооборотов, адаптивно располагающихся в пределах всего агроландшафта.

Учет истории полей – территория стационара должна быть сравнительно однородной по степени и направленности антропогенного воздействия в обозримом прошлом. Для учета истории

полей нужно исследовать архивные материалы. Однако выполнение бассейнового принципа не позволяет надеяться на то, что склоны разных экспозиций, расположенные на территории стационара, одинаково использовались в прошлом. Допустимо включение в территорию опыта лугопастбищных угодий. При закладке агроэкологического стационара составляется карта не только угодий, вошедших в его пределы, но и предшественников рекогносцировочной культуры.

Учет принципа репрезентативности – площадь стационара должна быть достаточной для охвата всех основных микропозиций, слагающих природную среду данного региона. Принцип репрезентативности связан с бассейновым принципом, так как правильное проведение границ стационара способствует включению в его состав всего разнообразия фаций.

Исследования на стадии рекогносцировки состоят из камерального и полевого этапов. На камеральном этапе собирается максимум фондовой, статистической, картографической, аэрофото- и литературной информации на месторасположение будущего стационара и его ближайшие окрестности. При их изучении составляется общее представление об устройстве его природной среды, а также соблюдается принцип учета истории полей. В ходе дешифрирования аэрофотоснимков создается первичная ландшафтная карта.

На полевом этапе определяют основные черты строения поверхности изучаемого геоконтекста, устройство его почвенного и растительного покрова, а также границы стационара. Проводят полевое уточнение ландшафтных контуров. Создают гипсометрическую, геоморфолого-литологическую, почвенную карты (с указанием структур почвенного покрова), агрохимические картограммы, геоботаническую карту, карту предшественников уравнильной культуры.

Примером проведения рекогносцировочных исследований служат наши работы на агроэкологическом полигоне ВНИИМЗ, который, занимая площадь 50 га, расположен в пределах конечно-моренного холма с относительной высотой 15 м, с четко выраженными геоморфологическими элементами: обширной плоской вершиной; длинными пологими склонами (до 4–5°) и межхолмными депрессиями. В пределах стационара выделяют три литолого-геоморфологических района:

1) южный склон и южная часть вершины, где мощная песчаная и супесчаная толща подстилается моренными суглинками на глубине 1–1,5 м; 2) северная часть вершины, верхняя и средняя части северо-восточного склона, с маломощными песчаными отложениями, подстилаемыми мореной на глубине 0,6–0,8 м; 3) нижняя треть северного склона и межхолмная депрессия, где песчаные отложения представлены фрагментарно.

12,6 % площади стационара занято дерново-подзолистыми слабооглеенными почвами, 49,1 – дерново-подзолистыми глееватыми, а 38,3 % – дерново-подзолистыми глеевыми и дерново-глеевыми почвами. Границы между почвенными комбинациями в основном совпадают с рубежами литолого-геоморфологических районов.

Анализ пространственного распределения параметров почв конечно-моренного холма показал, что в его пределах можно выделить следующие элементарные геохимические ландшафты:

- элювиальный (элювиально-аккумулятивный), занимающий плоскую вершину холма, в пределах которой отмечается нисходящий ток влаги и питательных веществ и их частичная аккумуляция в микропонижениях;
- транзитно-элювиальные, расположенные на верхних частях склонов, где наряду с процессами вертикального промывания почвенной толщи отмечаются явления латерального перемещения истинных и коллоидных растворов;
- транзитные, занимающие центральные части склонов холма и характеризующиеся интенсивным латеральным перемещением элементов питания, взвесей, твердых частиц и продуктов выветривания.
- транзитно-аккумулятивные, тяготеющие к наиболее пониженным местам, отличительной чертой которых является совокупное воздействие на почвенные процессы латерального перемещения веществ и их частичной аккумуляции из намывных и грунтовых вод.

Взаиморасположение элементарных геохимических ландшафтов в пределах агроэкологического стационара приведено на рис. 1.14. Анализ рисунка показывает, что на его территории преобладают элювиальные процессы (общая площадь элювиальных подурочищ – 51 %). Около 13 % площади занимают транзитно-аккумулятивные подурочища (ЭГЛ), расположенные в понижен-

ных элементах рельефа. 64 % площади занято фациями с низкой естественной дренированностью, 36 % территории могут достаточно активно сбрасывать излишки влаги.

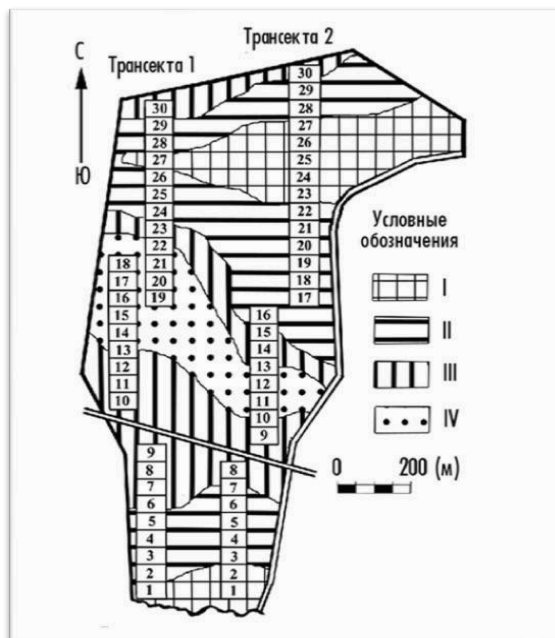


Рис. 1.14. Расположение подурочищ и трансект в пределах агроэкологического стационара «Губино»:

I – транзитно-аккумулятивные;
 II – транзитные;
 III – элювиально-транзитные;
 IV – элювиально-аккумулятивные.
 1–30 – номера точек опробования в пределах трансект

Для определения особенностей пространственно-временного варьирования продуктивности растений и выравнивания элементов плодородия в пределах стационара производят уравнительные посевы сельскохозяйственных культур. Рекогносцировочный посев ячменя изучали методом дробного учета на 283 делянках, площадью 0,18 га каждая. Различия подурочищ в генезисе рельефа, отложений и почв обуславливают неоднородность урожайности. В пределах всего стационара она составляет 28,5 ц/га при коэффициенте вариации 41 %. Урожайность в зоне распространения мощных и среднемощных двучленов равна 24,2 ц/га, а на маломощных двучленах 32,3 ц/га. Вариабельность урожая на мощных двучленах выше, чем на маломощных ($V\%$ – 43,6 и 34,3 соответственно).

Для выявления закономерностей формирования урожайности стационар был поделен на 28 прямоугольников, в каждом из

которых находилось по 10 делянок. Это позволило сопоставить значения параметров продуктивности растений и отдельных компонентов агроландшафта. В пределах всего стационара выявляется только одна значительная положительная связь урожайности ячменя с запасом воды в снеге. На северо-восточном склоне увеличение размера почвенного контура приводит к снижению урожайности, что объясняется большей адаптивностью сложной территории к изменениям погоды. При недостатке влаги пятна глеевых почв снабжают влагой слабооглеенные разности, а при ее избытке здесь не наблюдается сильного переувлажнения наиболее заболоченных участков. Простая территория не обладает такими компенсационными механизмами.

В условиях преобладания среднemocных и mocных двучленов развитие растений лимитирует в основном недостаток влаги, поэтому здесь велико значение запасов воды в снеге. При увеличении крутизны склона наблюдается усиление дефицита влаги и элементов питания.

Сравнение карты урожайности ячменя с картой ландшафтного устройства позволяет выявить основные черты протекания адаптивных реакций растений. Вся территория стационара может быть разделена на 6 комплексов агроареалов, различающихся как по урожайности, так и по характеру ее пестроты. Выделяются три типа сочетаний агроареалов урожайности (пространственно-гомогенных АОТ и градиентных территорий): 1) фоновые сочетания (градиентные территории со сквозным трендом), где на фоне монотонно изменяющейся урожайности рассыпаны пятна с ее высокими и низшими значениями; 2) чередующиеся сочетания, состоящие из перемежающихся пятен (АОТ) различной урожайности, имеющих достаточно сложную форму; 3) радиальные сочетания (градиентные территории с центральным трендом), в центре которых находится пятно с повышенной или пониженной урожайностью, окруженное концентрическими зонами урожайности, изменяющейся к периферии.

Группа элювиально-аккумулятивных фаций характеризуется преобладанием радиальных сочетаний вследствие локальной концентрации питательных веществ и влаги в микропонижениях. В пределах транзитно-элювиальных подурочищ пространственная смена мест с преобладанием либо транзитного, либо элювиального процесса приводит к образованию чередующихся соче-

таний АОТ. Группа транзитных ландшафтов характеризуется преобладанием ГТ со сквозным трендом, так как процессы транзита веществ способствуют возникновению тренда агроландшафтных свойств.

В ходе выполнения рекогносцировочного этапа невозможно одновременно изучать адаптивные реакции различных видов растений на ландшафтные условия. Эта проблема решается в ходе реализации трансектного этапа опыта. Основным этапом ЛПО является закладка физико-географических профилей-трансект, пересекающих все микроландшафтные позиции стационара. При их закладке необходимо придерживаться следующих принципов.

Принцип ортогональности – агроэкологические трансекты следует располагать перпендикулярно водотокам и водоразделам, иначе направление трансекты не совпадет с направлением основных геохимических потоков, что не позволит зафиксировать в ее пределах основные ареалы вымывания и аккумуляции веществ, то есть вариабельность параметров природной среды в ее пределах будет малоконтрастной.

Принцип репрезентативности – длина трансект должна быть достаточной для охвата всех микропозиций и получения объема данных, позволяющего проводить достоверные статистические исследования.

Принцип «спектральности» – расстояние между регулярно расположенными точками опробования должно быть по возможности малым, чтобы охватить максимальный спектр гармоник пространственного колебания показателей изучаемых явлений. Количество точек опробования должно быть как можно большим для получения представительного объема данных.

Принцип севооборотности – трансекта, в агрономическом отношении является севооборотным массивом, в пределах которого севооборот развернут в пространстве и во времени. Она должна представлять собой серию параллельных полос, протягивающихся вдоль трансекты, каждая из которых засеяна отдельной культурой севооборота. В пределах трансекты за время ротации происходит перемещение культур в соответствии с ротационной таблицей.

Принцип сравнимости – культуры, посеянные на трансекте, не должны существенно отличаться друг от друга по набору местообитаний, то есть изменение ландшафтных условий в преде-

лах трансекты в перпендикулярном направлении должно быть минимальным. Трансекта по всей длине должна испытывать единообразное антропогенное воздействие, то есть обработку, сев и уборку необходимо проводить в единые сроки, поддерживать единый фон подкормок, внесения удобрений и обработки пестицидами. При соблюдении этих условий каждая точка трансекты характеризуется единственным отличием от соседних – только в ландшафтном отношении.

Определение местоположения агроэкологически однотипных территорий и нанесение их на карту возможно только при наличии регулярной сети точек опробования. Измерение показателя в точках опробования дает возможность получить его пространственный ряд – регистрограмму, имеющую вид пилообразной кривой, которая отражает совокупность квазисинусоид, характеризующих многофакторность его изменчивости [21]. Максимальное расстояние между точками опробования определяется в рамках рекогносцировочного этапа ЛПО при геостатистической обработке данных уравнительных посевов. За максимально возможное расстояние между точками опробования принимается значение радиуса скоррелированности (Range), который можно рассчитать также методом автокорреляционного анализа. При сокращении минимального расстояния между точками опробования расширяется диапазон высоких частот колебаний значений показателей жизнедеятельности растений, доступных для изучения. При увеличении длины трансекты возрастает период наиболее низкочастотной квазисинусоиды, которую удастся зафиксировать.

Применение элементов теории случайных функций в ходе ЛПО позволяет выделить значимые гармоники в спектре колебаний значений урожайности и других показателей. С точки зрения агрономической практики наиболее важными являются сведения о длиннопериодических колебаниях, так как на их основе можно выделять агроэкологически однотипные территории и разрабатывать рекомендации по проведению границ угодий и полей.

В пределах трансект на агроэкологическом стационаре ВНИИМЗ был развернут семипольный плодосменный севооборот со следующим чередованием культур:

- 1) ячмень с подсевом многолетних трав;
- 2) многолетние травы 1 г.п.;

- 3) многолетние травы 2 г.п.;
- 4) озимая рожь;
- 5) лен;
- 6) картофель;
- 7) овес.

Каждая трансекта состоит из 7 параллельных полос, ширина которых 7,2 м, а длина – 1300 м. Все агротехнические мероприятия, необходимые для возделывания конкретной культуры, проводятся однотипно по всей длине полосы. Таким образом, достигается минимализация антропогенного воздействия на характер варибельности урожая. Учет параметров растительного и почвенного покрова производится в регулярных точках опробования, отстоящих друг от друга на 40 м. При определении урожайности вся трансекта разбивалась на 130 десятиметровок.

Анализ геохимической обстановки в пределах стационара показывает, что каждая катена характеризуется закономерной сменой процессов миграции вещества, а вершина – практическим отсутствием процессов бокового перемещения веществ. При движении вниз по склону интенсивность транзитных процессов достигает максимума в его центральных частях и уменьшается к подножию. В соответствии с этой схемой формируются самые общие черты распределения урожайности культур в пространстве стационара. Культуры, нестационарность длиннопериодических колебаний урожайности которых доказана на 5 % уровне значимости (НСР 0,05 для овса – 3,2 ц/га, ячменя – 2,9 ц/га, картофеля – 5,1 т/га, многолетних трав – 14,3 ц/га) обнаруживают весьма закономерное изменение урожайности. Картофель, характеризуясь пониженной урожайностью в пределах элювиально-аккумулятивного ЭГЛ, увеличивает продуктивность при усилении транзитных процессов и вновь её снижает в межхолмных депрессиях. Овес и ячмень формируют урожайность не только в зависимости от геохимической обстановки, но и под влиянием гранулометрического состава почв. На южном склоне для обеих культур характерен минимум продуктивности в транзитном ЭГЛ, а на северном подобные местоположения отличаются максимальной урожайностью. Многолетние травы вследствие особой пластичности образуют одновершинную кривую продуктивности с максимумом в верхних частях северного склона и с минимумом в транзитных ЭГЛ.

На основе полученных результатов можно предложить следующее определение:

агроландшафт – антропогенно-трансформированная геосистема, функционально обусловленная процессом перераспределения вещества и энергии мезорельефом, в пределах которой располагается строго определенное количество периодов низкочастотной кривой, описывающей процесс изменения урожайности сельскохозяйственной культуры.

Количество периодов низкочастотной кривой зависит от биологических свойств культуры и морфологических особенностей агроэcosystemы.

Исследования показали, что наиболее значительным фактором, определяющим пространственную вариабельность продуктивности многих культур, является изменчивость геохимической обстановки в пределах агроландшафта. Следовательно, элементарный геохимический ландшафт можно рассматривать как агромикрорландшафт или элементарный агроареал (ЭАА) – территориальный микрокомплекс, энергетические и геохимические параметры которого определяют однотипный характер (тренд) пространственной вариабельности урожайности сельскохозяйственных культур.

Разные агроландшафты в пределах одного их вида (местности) отличаются друг от друга по многим параметрам, определяющим различия условий произрастания культур. Для нужд сельского хозяйства необходимо выделять их классификационные группы, в пределах которых наблюдаются сходные морфометрические параметры. Так, в пределах плоских холмов с хорошо выраженной слабо дренируемой вершиной широко представлены ЭГЛ с преобладанием элювиальных процессов, тогда как в условиях островершинных холмов господствует транзит вещества. Следовательно, отнесение конкретного агроландшафта к той или иной группе может осуществляться на основе критерия преобладания в его пределах какого-либо геохимического процесса. Организация землеустройства хозяйств, ориентирующегося на параметры мягкого ландшафтного каркаса территории, определяющего характер смены подурочищ, должно руководствоваться классификацией агромикрорландшафтов – ЭГЛ. При нарезке полей необходимо учитывать не только геохимический тип территории, но и ее энергетические особенности (экспозиция),

условия перемещения вещества (крутизна склонов), литолого-гранулометрический состав почв, степень их окультуренности и т. д.

Процесс паспортизации АМЛ должен осуществляться на основе их классификации, наиболее крупной единицей которой является класс АМЛ – подразделение, характеризующееся единым характером почвообразующих пород. Совокупность АМЛ, входящих в один класс, при всех различиях, характеризуется единством фундаментальных ландшафтообразующих процессов. Все АМЛ, принадлежащие к классу песчаных ПТК, отличаются от суглинистых практически отсутствием эрозионных процессов и поверхностного стока, грунтовым типом заболачивания почв, их слабой водоудерживающей способностью, высокой скоростью минерализации в них органического вещества и т. д. Следовательно, АМЛ, принадлежащие к одному классу, отличаются единой стратегией освоения и сельскохозяйственного использования.

Следующую классификационную структуру, являющуюся территориальной единицей, которая объединяет все разнообразие геохимической обстановки, присущее полноразвитому склону холма или борту локального водосбора, можно назвать типом АМЛ. Как и все классификационные единицы, в пространстве он образует разорванные ареалы, характеризующиеся единой экспозицией. Вслед за А.И. Перельманом [34], выделяющим простые и сложные геохимические сопряжения, мы различаем простые и сложные типы АМЛ. Простой тип характеризуется единством почвообразующей породы в пределах всего склона, а сложный – подразумевает объединение АМЛ разных классов в случае, если склон неоднороден по литологическим параметрам

АМЛ, характеризующиеся едиными процессами миграции вещества, объединяются в подтипы, которые отличаются интенсивным развитием транзитных процессов, поэтому их целесообразно делить на роды по степени крутизны склона. Виды АМЛ выделяются по характеру структуры почвенного покрова, подвиды АМЛ – по степени окультуренности почв.

Можно выделить следующие *параметры литогенной основы АМЛ (классы АМЛ)*.

Гранулометрический состав почв (содержание физической глины, %) определяет теплообеспеченность почв, их отзывчивость на элементы системы земледелия и луговодства.

Геологическое строение почвенной толщи (верхние 120 см). Различают литологически однородные почвы, двучлены и почвы на слоистых отложениях. Под пахотные угодья прежде всего отводят почвы на гомогенных отложениях и мощных и среднемошных двучленах. Почвы на маломощных двучленах и слоистых отложениях желателно отводить под луговые угодья.

Каменистость почв. Под пашню возможно отводить слабо- и среднекаменистые почвы (до 20 % поверхности) при среднем диаметре камней < 10 см. При большем диаметре камней территорию возможно использовать под сенокос. АМЛ с сильнозакамененными почвами (> 20 % поверхности) используются только под пастбища и лесонасаждения.

Энергетические параметры АМЛ (типы АМЛ):

Экспозиция склонов определяет прежде всего тип севооборота. При прочих равных условиях на северных склонах предпочтительнее размещать сенокосы, а на южных – пастбища.

Геохимический статус АМЛ (подтипы АМЛ):

Элювиальные АМЛ (Э), как правило, отводят под полевые севообороты, однако при низком плодородии почв или их закаменности возможно использовать под луговые угодья.

Элювиально-аккумулятивные АМЛ (Э-А), как правило, используют под пашню, однако при большой пестроте почвенного покрова, заболоченности и закаменности – под луговые угодья.

Элювиально-транзитные АМЛ (Э-Т), как правило, используются под пашню, однако при значительной закаменности и пестроте почвенного покрова отводятся под луговые угодья.

Транзитные АМЛ (Т) используются под пашню при крутизне склона до 3° и слабой закаменности почв, при увеличении крутизны склонов до 5° вспашку проводят поперек склонов, пахотные угодья чередуют с луговыми, на склонах круче 5° рекомендуется размещать сенокосы и пастбища.

Транзитно-аккумулятивные АМЛ (Т-А) в основном используются под сенокосные угодья. Слабозакамененные и относительно сырые участки отводят под сенокосы, а сильнозакамененные места – под пастбища.

Аккумулятивные АМЛ (А) обычно не используются под сельскохозяйственные угодья, однако в наиболее сухих местах возможно размещение сенокосов.

Крутизна склонов (роды АМЛ):

Склоны до 3° – ограничение только по пастбищным угодьям (в элювиально-аккумулятивных, транзитно-аккумулятивных и аккумулятивных АМЛ), так как при переувлажнении механическая прочность дернины уменьшается.

Склоны от 3 до 5° – ограничение по пашням (вспашка только поперек склона)

Склоны >5° – отсутствие пашен, ограничение по пастбищам (только в местах с наиболее мощной дерниной)

Особенности структуры почвенного покрова (виды АМЛ):

Гомогенный почвенный покров благоприятен для размещения любого вида угодий при условии отсутствия негативных факторов (переувлажнения, закаменности и т. д.)

Почвенные комплексы возможно использовать под пашню только после агромелиоративного вмешательства (планировка микрорельефа, регуляция поверхностного стока и т. д.). Без агро-мелиоративного вмешательства – под луговые угодья.

Почвенные пятнистости – при значительной контрастности почвенного покрова – под луговые угодья (после применения агро-мелиоративных мероприятий – под пашню). При слабой контрастности – под любой вид угодий.

Почвенные ташеты – мало-контрастные – под любой вид угодий, контрастные – под сенокосы и пастбища.

Почвенные мозаики – только под луговые угодья.

Окультуренность почвы (подвиды АМЛ):

Слабоокультуренные почвы – без применения мероприятий по окультуриванию используют только под естественные сенокосно-пастбищные угодья, при внесении высоких доз минеральных и органических удобрений – под любой вид угодья.

Среднеокультуренные почвы – без мероприятий по окультуриванию – сенокосно-пастбищное использование или под полевые севообороты с высокой степенью биологизации. При окультуривании – под полевые севообороты.

Сильноокультуренные почвы – в основном под пашню.

На основе классификации создается легенда агро-микрорландшафтной карты хозяйства, а также, с привлечением дополнительных сведений, и сама карта.

Технологический этап ландшафтно-полевого опыта – важнейшая часть исследовательского процесса, направленная на раз-

работку элементов адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Основным методом исследования, применяемый на технологическом этапе ЛПО, – классический полевой эксперимент, наиболее полно описанный Б.А. Доспеховым [4].

Цель технологического этапа – определить основные принципы адаптации технологий возделывания сельскохозяйственных культур к различным ландшафтным условиям.

В задачу технологического этапа входит закладка серии «локальных» севооборотов в пределах либо конкретных АМЛ, либо агроэкологически однотипных территорий и определения для условий этих агрогеосистем оптимальных наборов элементов системы земледелия. Каждый локальный севооборот представляет собой автономный полевой опыт, заложенный на основе всех требований классической методики полевого опыта.

Основные требования к технологическому этапу ЛПО:

соблюдение принципа гомогенности, основанного на том, что конкретный локальный севооборот в зависимости от детальности исследований, проводимых в его пределах, должен полностью размещаться либо в границах одного АМЛ, либо одной агроэкологически однотипной территории (совокупности АМЛ);

учет принципа системности – совокупность локальных севооборотов должна планироваться как единая система, в которой они корреспондируются не только друг с другом, но и с комплиментарными частями трансект;

следование принципу дополняемости, вытекающему из положения о том, что пространство локальных севооборотов должно организовываться с учетом возможности добавления к ним балансовых, стоковых и метеоплощадок, а также специфических опытов.

Результаты технологического этапа ЛПО описаны в многочисленных источниках. Так, в работе Л.И. Петровой, Е.М. Корнеевой и Р.А. Салихова [35], выполненной на локальных севооборотах, отмечено, что ландшафтные и антропогенные факторы по значимости влияния на изменение продуктивности пашни располагаются в следующем порядке: ландшафт, набор культур и вид севооборота, удобрения, защита растений, обработка почвы. Возделываемые культуры по отзывчивости на условия изучаемых АМЛ образуют в порядке убывания следующий ряд: клевер 1 г. п., озимая рожь, зерносемя, трехкомпонентная злаково-бобовая

многолетняя травосмесь, картофель. В ходе технологического этапа было выявлено, что оплата внесения 1 кг д.в. минеральных удобрений выходом кормовых единиц была различной в зависимости от культуры и АМЛ. На всех культурах она была выше на плоской вершине по сравнению со склонами: на озимой ржи в 2,7–4,6 раза, зерносмеси – в 1,5–2,4, картофеля – 1,3–1,8, клевере – 1 г.п. в 1,9–2,1, причем на всех культурах (кроме озимой ржи) отмечалось ее снижение на северном склоне по сравнению с южным. Оценка отдачи применения минеральных удобрений в изучаемых севооборотах и в трех-четырёхпольных звеньях с одинаковым набором культур по выходу кормовых единиц на 1 кг д.в. удобрений и коэффициенту энергетической эффективности также показала преимущество вершины холма по сравнению со склонами.

Установлено, что в транзитном агромикрорландшафте северного склона почва, несмотря на высокую оструктуренность, несколько быстрее возвращалась в исходное состояние по плотности и выходила за пределы ее оптимальных значений для роста зерновых культур. Следует отметить, что процесс естественного уплотнения почвы на фоне отвальной обработки протекал более интенсивно, чем на фоне безотвальной обработки, особенно на склоне северной экспозиции, что обусловлено прежде всего действием ландшафтных условий (гранулометрический состав почв, рельеф). В этом АМЛ влагообеспеченность растений была выше почти в 2 раза, чем в соответствующем агромикрорландшафте южной экспозиции.

В монографии А.Е. Родионовой [41] приведены результаты изучения адаптивных реакций сорной растительности в пределах тех же локальных севооборотов. Она выяснила, что исходя из результатов гербологических исследований можно рекомендовать применение на элювиальном АМЛ отвальной обработки почвы с запашкой сидератов и применением минеральных удобрений на фоне дополнительной гербицидной защиты посевов от сорняков. На транзитных микрорландшафтах как южного, так и северного склонов холма необходимо чередовать отвальную вспашку с чизелеванием почвы.

Исследования на локальных севооборотах показали, что в земледельческой практике надо учитывать принципы адаптации технологических приемов к различным ландшафтным условиям.

На основе применения различных способов обработки почв, комбинаций удобрений и пестицидов, а также сортов растений возможно снизить размах пространственно-временных колебаний урожайности культур, что существенно повысит экологическую устойчивость агроландшафта.

1.4.1. Принципы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур для условий конкретных хозяйств

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур является важнейшей процедурой в процессе адаптации сельскохозяйственного производства к различным природным условиям. Особенно это актуально при разработке адаптивно-ландшафтных и прецизионных систем земледелия [10,16–20].

Количественные методы прогнозирования урожайности появились уже сравнительно давно. В нашей стране наиболее популярны работы академика Шатилова [45]. Расчет потенциального урожая (ПУ) и действительно возможных урожаев (ДВУ) осуществляется на основе простых формул, с помощью которых можно определить общие тенденции изменчивости продуктивности, однако они не учитывают особенностей взаимовлияния многих факторов жизни растений в различных ландшафтных и погодных условиях. В силу этого прогнозирование продуктивности культур (программирование урожаев), основанное на этих методах, не обеспечивает точности, необходимой для современных технологий.

«Прогресс в области вычислительной техники и развитие информационных технологий создали базу для перехода при прогнозировании урожайности к использованию количественных методов, основанных на применении математических процедур и соответствующих моделей. И теперь только от знаний и интеллектуальных способностей исследователя зависит то, насколько эффективно будут использованы эти возможности для раскрытия многочисленных прямых и обратных связей в агроэкосистеме, реализация которых приводит к желаемому конечному результату при тех или иных контролируемых (агротехника) и неконтролируемых (погода) внешних воздействиях» [36].

Модели, по мнению Р.А. Полуэктова [36], «...должны обеспечить возможность проигрывания различных сценариев в компьютерном эксперименте до его конкретной реализации в по-

левых условиях, когда погодные условия текущего сезона вегетации (или его части) неизвестны и требуется разработать те или иные алгоритмы прогнозирования. Второй задачей является анализ эффективности примененной технологии по завершении вегетационного периода, а также после уборки урожая. Эта задача на порядок проще первой, поскольку модель в данном случае может оперировать с реальной погодой, сложившейся в данном сезоне. Наконец, имеет право на существование третья задача – разработка плановой технологии на предстоящий период. Поиск ее решения может опираться только на статистические характеристики погодных условий, хранящиеся в соответствующей базе данных».

Имитационное моделирование, являясь мощным инструментом прогнозирования урожайности, пока не может применяться повсеместно вследствие слабой адаптированности программ к различным регионам, так как характер протекания продукционного процесса в значительной степени зависит от местных условий.

В данной работе показан метод прогнозирования урожайности на основе результатов ландшафтно-полевого опыта, целью которого является изучение влияния неуправляемых факторов природной среды на растения. Этот метод выгодно отличается от приведенных выше простотой практического применения, возможностью учета погодных обстановок и микроландшафтных условий, получения прогнозных карт урожайности и устойчивости посевов [7, 8]. Широкое применение метода сдерживается слабым развитием опытной базы, однако в совокупности с имитационным моделированием он уже сейчас может применяться во многих регионах страны.

Предлагаемый метод прогнозирования урожайности культур основан на расчете ее значений в различных частях конкретного хозяйства с помощью регрессионного уравнения функциональной зависимости урожая от условий природной среды, полученного по результатам ЛПО.

Мультирегрессионные уравнения зависимости урожая культуры от условий природной среды получают на основе данных трансектных исследований на агроэкологическом полигоне. Эти уравнения позволяют выявить факторы, достоверно влияющие на продуктивность культуры, а также ранжировать их по силе воздействия на урожай.

На основе полиномиальных парных уравнений регрессии определяют оптимальные и критические значения факторов, влияющих на урожай.

При условии, когда связь урожайности с факторами природной среды не может быть адекватно описана линейными регрессионными уравнениями, для прогнозирования могут быть использованы методы нейронно-сетевого анализа.

Применение регрессионных уравнений (или результатов других методов), полученных на основе данных ЛПО, возможно только в хозяйстве, территория которого в ландшафтном отношении генетически однотипна с территорией агроэкологического стационара. Прогнозирование урожайности в пределах территории, сильно отличающейся по условиям от агроэкологического стационара, производят на основе имитационного моделирования.

Основные этапы прогнозирования урожайности

Создание банка данных, описывающего условия природной среды изучаемого хозяйства.

Создание электронных карт свойств природной среды хозяйства.

Создание карты микроландшафтного устройства хозяйства.

Определение функциональных зависимостей урожайности культуры от факторов, представленных в банке данных, для различных погодных условий в режиме ЛПО.

Расчет значений прогнозной урожайности на основе полученных функциональных зависимостей на территории хозяйства для различных погодных условий.

Создание прогнозных карт урожайности культуры в пределах хозяйства для различных погодных условий.

Создание карт устойчивости урожая культуры в пределах хозяйства.

Анализ карт урожайности и устойчивости культур.

СОЗДАНИЕ БАНКА ДАННЫХ

Под банком данных понимается таблица, в строках которой показаны характеристики точек опробования, а в столбцах – значения конкретных параметров природной среды хозяйства в различных его частях. Банк данных должен наиболее полно описывать ландшафтные условия хозяйства, то есть включать в себя характеристики основных (климат, рельеф, почвообразующие породы) и производных (водная оболочка, почвы, раститель-

ность) компонентов ландшафта. «Точками опробования» в условиях хозяйства являются конкретные угодья, ландшафтные параметры которых известны.

Для создания банка данных необходимо собрать архивные и фондовые материалы по почвенному и почвенно-мелиоративному обследованию хозяйства, агрохимические картограммы (желательно за все годы обследования), топографическую основу, материалы по бонитировке почв, геоботанические карты.

В банке данных вся информация должна быть представлена в цифровом виде, качественные данные – в виде балльных оценок, отражающих существо явления.

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ОПРОБОВАНИЯ И КОМПОНЕНТОВ АГРОГЕОСИСТЕМЫ

Для создания электронных карт используются геоинформационные системы (ГИС).

Первым этапом создания электронной карты является сканирование бумажных основ (проекта землеустройства, почвенных карт, агрохимических картограмм и т. д.) и сохранение их в виде графических файлов с расширением .jpg. Графические файлы экспортируются в ГИС. Проводится процедура проецирования – графическим (растровым) файлам присваивается картографическая проекция. На основе процедуры пространственной привязки осуществляется масштабирование растровых файлов, в результате которого возникает возможность измерения длин, периметров и площадей объектов.

Создаются векторные файлы с расширением .shp – карта угодий и карта расположения точек опробования. Под точкой опробования понимается центр угодья.

Проводится заполнение и редакция атрибутивных таблиц. В атрибутивную таблицу карты угодий вносят следующие качественные характеристики: наименование угодья, его тип, почвенные разности, тип севооборота, чередование культур и т. д. В атрибутивную таблицу карты точек опробования заносят количественные параметры: высоту местности, агрохимические параметры, баллы почвенного бонитета, урожайность культур и т. д. На основе данных атрибутивной таблицы карты угодий создаются разнообразные картограммы – размещения культур и угодий, агрохимических и агрофизических свойств почв и т. д. На основе данных атрибутивной таблицы карты точек опробования соз-

даются разнообразные изолинейные (растровые) карты параметров компонентов ландшафта. Изолинейные карты создаются при помощи инструмента ГИС «интерполяция».

Наиболее важна цифровая модель рельефа (ЦМР), описывающая характер изменчивости высоты местности в пределах изучаемой территории. На основе ЦМР с помощью инструмента «поверхность» создают карты экспозиции склонов, крутизны уклонов, кривизны поверхности, радиационного баланса, освещенности. Эти параметры также заносят в атрибутивную таблицу.

На основе ЦМР и карт параметров компонентов ландшафта создается shp-файл «карта микроландшафтного устройства территории»

СОЗДАНИЕ КАРТЫ МИКРОЛАНДШАФТНОГО УСТРОЙСТВА ТЕРРИТОРИИ ХОЗЯЙСТВА.

Агромикрорландшафт или элементарный агроареал – территориальный микрокомплекс, энергетические и геохимические параметры которого определяют однотипный характер (тренд) пространственной вариабельности урожайности сельскохозяйственных культур. АМЛ, как правило, территориально совместим с подурочищем или крупной фацией.

Процесс создания карты должен осуществляться на основе классификации АМЛ, показанной выше.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ УРОЖАЙНОСТИ КУЛЬТУР ОТ ФАКТОРОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Функциональные зависимости урожайности культур от факторов природной среды определяются в пределах агроэкологического стационара методами регрессионного анализа.

Для создания регрессионных моделей отбирают факторы природной среды агроэкологической трансекты, которые представлены в атрибутивных таблицах карт, созданных на территорию хозяйства.

На основе стандартных пакетов статистических программ (Statistica 7, Statgraphicsplus и т. п.) рассчитывают достоверные уравнения множественной регрессии зависимости урожайности культуры от определенных факторов для конкретных агроклиматических условий. Выявляют факторы, достоверно влияющие на урожайность культуры при различных агроклиматических условиях. С помощью парных полиномиальных регрессионных урав-

нений находят оптимальные или критические значения факторов, достоверно влияющих на урожайность культуры.

РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ ПРОГНОЗНОЙ УРОЖАЙНОСТИ ДЛЯ РЕАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА.

При прогнозировании значений урожайности для территории реального хозяйства решают задачу, обратную определению функциональных зависимостей.

Используя инструмент ГИС ArcView 9.3 – «калькулятор поля», можно определить значения урожайности культуры для каждой точки опробования на основе мультирегрессионной модели, полученной для условий агроэкологического стационара.

Значения урожайности рассчитывают для различных агроклиматических обстановок и заносят в атрибутивную таблицу карты точек опробования.

СОЗДАНИЕ ПРОГНОЗНОГО КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Для адаптивного размещения посевов культуры в пределах хозяйства необходимо создать следующие картографические материалы: карты прогнозной урожайности культуры для разных погодных условий; карты устойчивости урожая; карты местоположений оптимальных значений факторов.

При создании карты урожайности культуры используют данные атрибутивной таблицы, содержащей параметры компонентов ландшафта прогнозного хозяйства.

На основе сопоставления карт урожайности культуры, созданных для разных агроклиматических условий, создают карту устойчивости урожайности. В местах с наибольшей устойчивостью многолетние колебания урожайности минимальны.

Используя инструмент «калькулятор раstra», на ранее созданных изолинейных картах факторов, достоверно влияющих на урожайность культуры, выделяют места с их оптимальными (соответствующими повышению) и критическими (приводящими к понижению) значениями.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННОГО КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Размещение посевов культуры должно осуществляться в местах, характеризующихся ее относительно высокой и устойчивой урожайностью. Выявление этих мест идет на основе инстру-

мента ГИС «калькулятор растра», при этом создается карта адаптивного размещения посевов.

Совмещение карты адаптивного размещения посевов с картами оптимальных и критических значений факторов позволит определить мероприятия по оптимизации продукционного процесса культуры; совмещение карты адаптивного размещения посевов с картой микроландшафтного устройства территории – общую направленность гидромелиоративных и агротехнических мероприятий; совмещение карты адаптивного размещения посевов с картами адаптивного размещения других культур – оптимальное чередование культур для каждого рабочего участка.

ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕСТ ДЛЯ ПОСЕВА МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ

Применение методов прогнозирования урожайности покажем на примере прогнозного хозяйства. Первым этапом работы является создание карты точек опробования (опорных точек) – мест на территории хозяйства, для которых известны параметры окружающей среды (рис. 1.15).

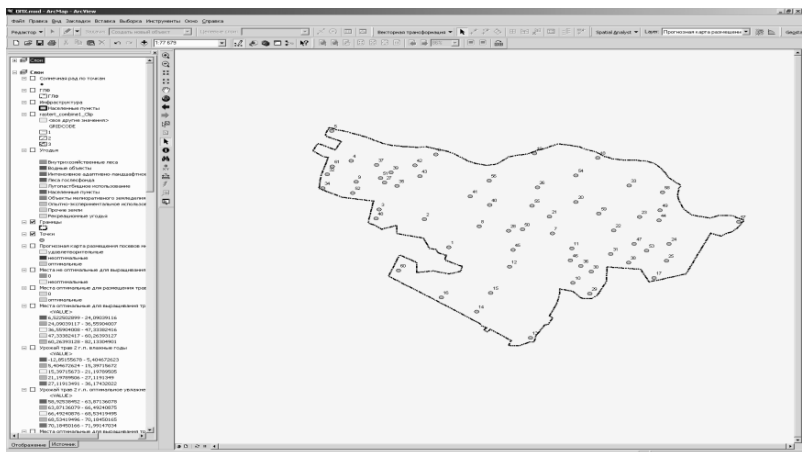


Рис. 1.15. Расположение точек опробования в пределах прогнозного хозяйства

Формирование банка данных на это хозяйство осуществлялось на основе архивных агрохимических картограмм, фондовых материалов и проектов мелиоративного строительства. Использо-

вание топографической основы позволило создать цифровую модель рельефа прогнозного хозяйства.

С помощью ГИС-технологий (ARCVIEW) на основе ЦМР создаются карты крутизны склонов (уклонов), кривизны поверхности, интенсивности солнечной радиации.

Банк данных на это прогнозное хозяйство состоит из следующих показателей: 1) кислотность пахотных горизонтов почв (единицы рН); 2) содержание обменного калия в пахотных горизонтах почв (мг/100 г); 3) содержание подвижного фосфора в пахотных горизонтах почв (мг/100 г); 4) содержание гумуса в пахотных горизонтах почв (%); 5) значение радиационного баланса на единицу площади (ккал/см²); 6) высота местности, м; 7) уклон местности (%); 8) кривизна поверхности.

Технология создания банка данных состоит из создания серии изолинейных карт вышеприведенных параметров и совмещения этих карт с картой точек опробования и определения для каждой точки значений перечисленных параметров.

Следующий этап работы – расчет функциональных зависимостей урожайности культур (клеверо-тимофеечных травостоев 1-го и 2-го г. п.) от приведенных параметров природной среды агроэкологического стационара ВНИИМЗ. Для этого из банка данных стационара выбираются указанные параметры, а также данные по урожайности травостоев для влажных и оптимально увлажненных лет.

Расчет уравнений регрессии может производиться с помощью многих статистических программ, в данном случае мы использовали STATGRAPHICSPlus (рис. 18, 19).

При расчете регрессионных уравнений необходимо задать такие условия, чтобы компьютер включил в них только те факторы, которые достоверно влияют на урожайность культуры.

Для условий стационара ВНИИМЗ урожайность трав 1-го г. п. во влажные годы описывается следующим уравнением:

$$\text{Урожайность} = 189,8 - 1,0_{\text{Высота}} + 5,9_{\text{Гумус}} - 28,3_{\text{Кривизна}} - 8,8_{\text{Крутизна}} \quad (1)$$

$$R^2 = 52,3 \%, F_{\text{факт}} = 6,85 > F_{\text{теор}} = 2,0, p = 0,0007$$

Максимальное влияние на урожайность оказывает крутизна склонов (определяет 27,1 % ее вариабельности). На более крутых склонах урожайность сена снижается вследствие активизации эрозионных процессов. Кривизна поверхности определяет 11,0 %

изменчивости урожая. На выпуклых участках вследствие эрозийного смыва происходит снижение урожая. Изменение высоты местоположения определяет 7,5 % вариабельности урожая – увеличение высоты активизирует эрозию, что негативно сказывается на урожае. Увеличение содержания гумуса в почве способствует росту урожайности сена до 6,8 %.

Урожайность сена трав 1-го г. п. для условий лет с оптимальным увлажнением достоверно зависит только от солнечной радиации:

$$\text{Урожайность} = 727,2 - 0,002_{\text{радиация}} \quad (2)$$

$$R2 = 25,5 \%, F_{\text{факт}} = 9,61 > F_{\text{теор}} = 2,0, p = 0,004$$

Увеличение радиации приводит к угнетению трав и снижению урожайности сена на 25,5 %.

Урожайность трав 2-го г. п. для влажных лет описывается следующим уравнением:

$$\text{Урожайность} = 802,9 - 14,9_{\text{крутизна}} - 8,9_{\text{рН}} - 0,002_{\text{радиация}} \quad (3)$$

$$R2 = 46,7 \%, F_{\text{факт}} = 7,60 > F_{\text{теор}} = 2,0, p = 0,0008$$

Максимальное влияние на урожайность оказывает крутизна склонов (определяет 19,6 % вариабельности выхода сена с гектара), изменение интенсивности радиации определяет 14,2 % изменчивости урожая, подкисление почвы способствует увеличению урожая до 12,9 % вследствие лучшего развития злаков.

Урожайность трав 2-го г. п. при оптимальном увлажнении зависит от следующих факторов:

$$\text{Урожайность} = 1126,8 - 2,3_{\text{высота}} - 0,002_{\text{радиация}} \quad (4)$$

$$R2 = 43,1 \%, F_{\text{факт}} = 10,22 > F_{\text{теор}} = 2,0, 3 = 0,0005$$

Высота определяет в данном случае 25,7 % вариабельности урожайности сена, а радиация – 17,4 %.

На основе полученных уравнений производится прогнозирование урожайности трав для хозяйства. Для этого в атрибутивной таблице ГИС-проекта, которая является банком данных для прогнозного хозяйства, открываются новые поля, которые будут содержать информацию о прогнозной урожайности. Ее расчет осуществляют с помощью инструмента ГИС – «калькулятор поля».

В ходе прогнозирования рассчитывают урожайность трав 1-го и 2-го г. п. для периодов экстремального и оптимального увлажнения. Далее с помощью инструмента «калькулятор поля» вычисляют модули размаха урожайности, средней урожайности, коэффициенты устойчивости (средняя урожайность/размах), коэффициенты оптимальности (коэффициент устойчивости * средняя урожайность) и создают изолинейные карты этих параметров.

Изолинейные карты совмещаются в определенном порядке с помощью инструментов «калькулятор растра» и «комбинирование», что позволяет выявить места на территории прогнозного хозяйства, оптимальные для произрастания трав.

Одним из основных результатов работы является карта местонахождения ареалов, в разной степени пригодных для произрастания трав (рис. 1.16).



Рис. 1.16. Зонирование территории прогнозного хозяйства по степени пригодности для выращивания многолетних трав

Карта микроландшафтного устройства прогнозного хозяйства показана в литературе [8]. Совмещая рис. 1.16 с картой микроландшафтного устройства, можно отметить, что ареалы оптимального размещения посевов находятся только в пределах мо-

рено-ледниковой равнины, тогда как территории удовлетворительные и неудовлетворительные для размещения травостоев располагаются также на зандровой равнине и в долине р. Волги. Ареалы неудовлетворительного размещения посевов располагаются в основном на северных склонах холмов, а оптимального – на южных, они тяготеют к транзитно-аккумулятивным и аккумулятивным ландшафтам. В ареалах оптимального размещения травостоев актуальны мероприятия по двойному регулированию водно-воздушного режима почв, а также внесение поддерживающих доз извести.

Применение информационных технологий при планировании сельскохозяйственных мероприятий становится все более насущной прикладной задачей современной агрономии. В условиях глобального экологического и экономического кризиса, а также при потеплении и аридизации климата они являются единственным инструментом объективного планирования в процессе сельскохозяйственного использования агроландшафтов.

Для успешного развития методов прогнозирования урожайности и их внедрения в производственный процесс необходимо развивать сеть стационаров ЛПО, совершенствовать методику мониторинга адаптивных реакций растений на ландшафтные и агроклиматические условия и компьютерной обработки получаемых на них данных, повысить качество компьютерной грамотности специалистов хозяйств.

Литература

1. Видина А.А. Практические занятия по ландшафтоведению: метод. пособие для геогр. ф-тов университетов. – М.: МГУ, 1974. – 84 с.
2. Герасимов И.П. Учение о природных экосистемах (геоэкобиотах) как синтез ландшафтоведения и биогеоценологии в советской географической и биологической науках // Журнал общей биологии. – 1973. – № 34. – Т. 5. – С. 635–645.
3. Голованов А.И., Зимин Ф.М. Природообустройство: курс лекций. – М.: МГУП, 2000. – 150 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 350 с.
5. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). – Пушкино, 1994. – 148 с.
6. Зубков А.Ф. Агробиеоценология. – СПб., 2000. – 208 с.
7. Иванов Д.А. Агрогеография: учеб. пособие. – Тверь: Агросфера, 2010. – 244 с.

8. Иванов Д.А. Ландшафтно-адаптивные системы земледелия (агрэкологические аспекты): монография. – Тверь: ЧуДо, 2001. – 304 с.
9. Иванов Д.А. Перспектива типизации агроландшафтов гумидной зоны // Вестник РАСХН. – 2000. – № 2. – С. 31–33.
10. Иванов Д.А., Рубцова Н.Е. Адаптивные реакции сельскохозяйственных растений на ландшафтные условия Нечерноземья. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2007. – 356 с.
11. Ильина Л.П. Количественно-морфологическая характеристика некоторых комбинаций и элементарных почвенных ареалов Верхневолжской низины // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. – М.: Наука, 1970. – С. 110–126.
12. Каштанов А.Н. Земледелие // Избр. труды РАСХН, Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – М., 2008. – 685 с.
13. Каштанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швецбс Г.И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. – М.: Колос, 1994. – 127 с.
14. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
15. Ковалев Н.Г., Иванов Д.А. Тюлин В.А. Введение в агроландшафтоведение: учеб. пособие. – М.; Тверь, 2002. – 212 с.
16. Ковалев Н.Г., Смирнов А.А., Иванов Д.А. и др. Теоретические основы создания адаптивных ландшафтно-мелиоративных систем земледелия и их типовые модели (проекты) для различных природно-экономических условий гумидной зоны. – Кн. II: Технологические карты возделывания сельскохозяйственных культур, создания и использования сенокосов и пастбищ. – Тверь, 2000. – 102 с.
17. Ковалев Н.Г., Смирнов А.А., Иванов Д.А. и др. Модели систем земледелия, адаптированных к агроэкологическим условиям мелиорированных агроландшафтов: науч. докл. – Тверь; М.: РАСХН; ВНИИМЗ, 2000. – 52 с.
18. Ковалев Н.Г., Смирнов А.А., Иванов Д.А. и др. Теоретические основы создания адаптивных ландшафтно-мелиоративных систем земледелия и их типовые модели (проекты) для различных природно-экономических условий гумидной зоны. – Кн. I. – Тверь, 2000. – 119 с.
19. Ковалев Н.Г., Тюлин В.А., Иванов Д.А. Разработка типовых моделей ландшафтно-мелиоративных систем земледелия // Доклады РАСХН. – Т. 1. – 1999. – С. 18–21.
20. Ковалев Н.Г., Ходырев А.А., Иванов Д.А., Тюлин В.А. Агроландшафтоведение: учеб. пособие. Тверь; М.: РАСХН, Минсельхоз России, ТГСХА, ВНИИМЗ, 2004. – 490 с.
21. Козловский Ф.И. Методы изучения солевого режима почв // Методы стационарного изучения почв. – М.: Наука, 1977. – С. 88–167.
22. Котлярова О.Г. Антропогенное формирование экологически устойчивых агроландшафтов. – Белгород, 2004. – 32 с.

23. Котлярова О.Г., Котлярова Е.Г. Освоение ландшафтных систем земледелия: учеб. пособие. – Белгород, 2006. – 126 с.
24. Лопырев М.И. Агрландшафты и земледелие: учеб. пособие. – Воронеж: Изд-во ВГАУ, 2001. – 169 с.
25. Лопырев М.И. Экологизация земледелия на ландшафтной основе (опыт и способы решения): науч.-практ. пособие. – Воронеж: Полиарт, 2004. – 127 с.
26. Лукьянов С.Н. Формирование ресурсообеспеченных урожаев яровых зерновых культур в условиях моренно-зандровых ландшафтов Верхневолжья: автореф. дис. ... канд. с/х наук. – Тверь, 2005. – 22 с.
27. Методика определения оптимального соотношения земельных угодий для агроландшафтов лесостепи ЦЧЗ на биоэнергетической основе / РАСХН, ВНИИЗиЗПЭ. – Курск, 2005. – 38 с.
28. Мильков Ф.Н. Общее землеведение. – М.: Высш. шк., 1990. – 335 с.
29. Мильков Ф.Н. Парагенетические ландшафтные комплексы // Науч. зап. Воронеж. отд. ГО СССР. – Воронеж, 1966. – С. 3–7.
30. Мильков Ф.Н. Человек и ландшафты. – М.: Мысль, 1973. – 224 с.
31. Николаев В.А. Концепция агроландшафта // Вестник МГУ. – Сер. 5. География. – 1987. – № 2. – С. 22–27.
32. Николаев В.А. Ландшафтоведение и земледелие // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов: тез. конф. (16–19 окт. 1997 г.). – М.; СПб., 1997. – С. 24–28.
33. Пашканг К.В., Васильева И.В., Лапкина Н.А., Любушкина С.Г., Рычагов Г.И. Комплексная полевая практика по физической географии. – М.: Высш. шк., 1986. – 208 с.
34. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высш. шк., 1975. – 342 с.
35. Петрова Л.И., Корнеева Е.М., Салихов Р.А. Изучение дифференцированного применения агротехнических мероприятий в условиях осушенных агроландшафтов Нечерноземной зоны России // Земледелие на рубеже XXI века: сб. докл. Междунар. науч. конф. – М.: МСХА, 2003. – С. 202–207.
36. Полуэктов Р.А. Динамическое моделирование агроэкосистемы. – Л., 1991. – 312 с.
37. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. – СПб.: СПбГУ, 2006. – 396 с.
38. Преображенский В.С. Ландшафтные исследования. – М.: Наука, 1966. – 127 с.
39. Прокаев В.И. Физико-географическое районирование. – М.: Просвещение, 1983. – 176 с.

40. Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 520 с.
41. Родионова А.Е. Борьба с сорными растениями в условиях моренного агроландшафта. – Тверь; СПб., 2002. – 71 с.
42. Сукачев В.Н. Соотношение понятий биогеоценоза, экосистемы и фации // Почвоведение. – 1960. – № 6. – С. 1–10.
43. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. – М., 1972. – 423 с.
44. Фридланд В.М. Структуры почвенного покрова мира. – М.: Мысль, 1984. – 235 с.
45. Шатилов И.С., Бондаренко Н.Ф., Жуковский Е.Е. и др. Схема организации научных исследований по программированию урожая // Доклады ВАСХНИЛ. – 1976. – № 2. – С. 2–4.
46. Швец Г.И. Концепция парагенетических ландшафтов и природопользование // География и практика науки. – М., 1988. – С. 107–120.
47. Щербаков А.И., Володин В.М. и др. Ландшафтное земледелие и агробиоэнергетика // Земледелие. – 1994. – № 2. – С. 8–12.
48. Ashby W. R. Theory as a new Discipline // General systems. – 1958. – Vol. 3. – P. 1–6.

Глава 2. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЛИОРИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, ИНТЕНСИВНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ

2.1. Изменения агроэкологического состояния торфяных почв после длительного использования. Общие тенденции

Торфяники России резко различаются по многим факторам: ботаническому составу, степени разложения, зольности, мощности торфяной залежи и другим. В сельскохозяйственном производстве как объекты земледелия используются в основном низинные торфа, редко переходные, и практически не используются верховые торфа.

Продуктивное использование торфяных болот возможно только на основе осушения. Осушительная мелиорация в сочетании с окультуриванием обеспечивает урожай сельскохозяйственных культур. Доля осушаемых земель в настоящее время не превышает 8–20 % от нуждающихся в осушении земель. Вслед за мелиорацией торфяных массивов и интенсивным сельскохозяйственным использованием наступает «почвоутомление», деградация (потеря органического вещества) и снижение урожаев.

На территории России заболочено 23,9 млн га (10,1 %) сельскохозяйственных земель. Доля заболоченных пахотных угодий составляет почти 8 % от всей площади пашни. Заболоченные природные кормовые угодья в целом по России занимают 5,9 млн га (9,9 %). Следует заметить, что под термином «заболоченные» подразумеваются минеральные и торфяные почвы вместе. Таким образом, все виды оторфованных почв занимают 21,6 % территории России, то есть каждый пятый гектар земельных угодий.

Одним из приемов сдерживания деградации торфяных почв при выращивании овощных культур может быть использование биологизированного земледелия. Экологическая безопасность мелиорированного торфо-болотного ландшафта любого региона складывается из множества взаимосвязанных факторов различного свойства и характера.

Регламентация факторов экологического воздействия, риска и опасности должна проводиться с учетом их характера, ин-

тенсивности, периодичности и других особенностей проявления в конкретных природных условиях.

Многофункциональная роль болот определяет огромную ответственность общества за их рациональное использование. Болота играют важную роль в поддержании состава атмосферного воздуха: их растительность обогащает атмосферу кислородом и усваивает углекислый газ, изымая из планетарного цикла углерод и консервируя его в торфяниках на тысячи лет.

В результате частичного разложения растительных остатков в анаэробных условиях в атмосферу поступает также значительное количество метана. Соотношение между потоками углекислого газа и метана (важных компонентов атмосферного воздуха, регулирующих проявления парникового эффекта) определяет вклад болотного региона в возможное потепление глобального климата.

Климатическая функция болот, помимо их влияния на состав атмосферы, проявляется в формировании теплового и водного балансов территории. Происходит увеличение влажности воздуха и ослабление степени континентальности климата. Геоморфологическая функция болот проявляется в консервации под слоем торфяников первичных форм рельефа, протекающей одновременно с формированием сглаженных, специфических форм болотной поверхности (обращённого фитогенного рельефа).

Болота обеспечивают сохранение генофонда редких животных, птиц и растений. На неосушенных торфяных болотах произрастают редкие лекарственные растения и ягоды. Таким образом, болотные экосистемы имеют весьма важное значение для сохранения экологического равновесия как на локальном уровне, так и во всей биосфере.

Как и любую природную систему, болото следует рассматривать с позиций его жизне- и ресурсовоспроизводящих возможностей для человека. Следовательно, начавшееся и имеющее тенденцию развернуться в будущем, по мере развития производительных сил общества, хозяйственное освоение торфяных ресурсов соприкасается с проблемой обеспечения экологического равновесия в крупнейших заторфованных регионах России.

Современная стратегия предусматривает переход от мероприятий по ликвидации неблагоприятных последствий антропогенного воздействия к мерам предупредительного характера, по-

этому, рассматривая роль болот в биосфере с целью обоснования природоохранных мероприятий, следует прежде всего оценить ее позитивные стороны, а затем – возможности ослабления негативных сторон путем мелиорации, в том числе при освоении торфяных месторождений.

Рациональное использование торфяных ресурсов предполагает распределение их по эколого-хозяйственным фондам с приоритетностью выделения хозяйственного фонда. Однако до сих пор нет критериев отбора торфяных месторождений для сохранения их в естественном состоянии. Такое выделение проводится на базе экспертных оценок. В результате мы не имеем охраняемых торфяных месторождений или их участков, если только они не оказываются в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

В настоящее время единого методологического подхода к распределению торфяных ресурсов на эколого-хозяйственные фонды в России не существует. В основе плана рационального использования торфяных ресурсов России должна быть единая методология, вскрывающая причины заболачивания (в том числе прогрессирующего), объективно отражающая динамику современных болотных процессов и определяющая направления их использования.

По нашему мнению, намечаются три уровня в стратегии изучения, охраны и освоения торфяных болот России.

Первый – макроуровень – следует из средообразующей роли болотных экосистем, обеспечивающей экологическое равновесие и эволюцию геосистем на значительной территории в течение веков и тысячелетий. На этом уровне предусматривается решение следующих задач: разработка эколого-биосферных моделей болотных регионов, выделение зон экологического риска, прогнозирования и регулирования направлений и интенсивности антропогенного воздействия на экосистемы заболоченных территорий. Поэтому в основе рационального использования торфяных ресурсов находится состояние водного баланса территории.

Степень мелиоративного воздействия и его последствия с целью разумного природопользования должны быть предварительно оценены на основе теоретического моделирования изменения водного баланса территории в зависимости от таких факторов, как соотношение площади предлагаемых к осушению бо-

лот и площади водосбора рек, типа болот, характеристик русловой сети и др. Конкретные подходы к выделению эколого-хозяйственных фондов определяются степенью заторфованности территории, физико-географическим, болотным районированием, типами торфяных залежей.

Существующий охраняемый фонд – это торфяные месторождения или их участки в границах известных особо охраняемых территорий (заповедников, заказников, зеленых зон городов, научных стационаров и т. д.). Прогнозируемый охраняемый фонд включает в себя дополнительно к существующему торфяные месторождения или их участки, рекомендуемые к сохранению на основе разработанных критериев после проведения научных исследований.

Предлагается учитывать следующие положения для выделения торфяных месторождений, их участков и заболоченных территорий в охраняемый фонд:

1. Объекты водоохранного значения:

а) расположенные на водоразделе и являющиеся источниками питания мелких рек и крупных озер при среднем межennem расходе 1 л в секунду и более по основному источнику;

б) при наличии родников, используемых в курортологии, или как источник питьевой воды с дебитом свыше 0,2 л в секунду;

в) площадью от 1 до 10 га, расположенные на сельскохозяйственных угодьях и от 1 до 30 га в лесах, если они являются регулятором водного режима и источником водного питания фауны;

г) если подстилающий грунт торфяного месторождения и грунт прилегающих территорий сложен из песков и при осушении невозможно обеспечить необходимый уровень грунтовых вод.

2. Для защиты пойм рек от почвенной эрозии сохраняются характерные месторождения пойменного залегания и месторождения, защищающие сельхозугодья от эрозии (выявляются обследованием).

3. Для сохранения дикорастущих ягод и лекарственных трав резервируются торфяные месторождения:

а) при площади клюквоносных участков 15 % и более от общей площади, среднем годовом урожае клюквы свыше 100 кг с га и общей площади клюквоносного участка более 10 га на одном месторождении;

б) с наибольшим количеством видов и запасов лекарственного сырья сохраняются по 3–4 характерных месторождения в каждом природном регионе (выявляются исследованиями).

4. Для сохранения редких и исчезающих экземпляров фауны и флоры создаются заказники из расчета не менее 2 в каждом природном регионе (определяются на основании исследований).

5. Для научных целей сохраняются месторождения, на которых ведутся научные исследования, и месторождения, уникальные в генетическом, геохимическом плане (по заключению ученых).

6. В рекреационных и санитарно-гигиенических целях запрещается разрабатывать торфяные месторождения на добычу торфа, расположенные у городов с численностью населения от 20 до 100 тыс. человек в зоне 5–10 км и численностью свыше 100 тыс. человек в зоне 10–25 км, при наличии в городе предприятий химической промышленности защитная зона увеличивается на 25 %.

7. Для охотничьих и рыболовных целей сохраняются торфяные месторождения, их участки и заболоченные территории, играющие важную роль в воспроизводстве ценных представителей охотничьей фауны (по предложению комитета по охране природы, администрации, общества охотников и рыболовов).

8. В охраняемый фонд включаются торфяные месторождения и заболоченные территории, используемые перелетными птицами для отдыха и питания во время перелетов (по заключению ученых).

9. Для поддержания равновесия в экологических системах дополнительно резервируются месторождения, их участки и заболоченные территории, если их площадь, оставленная в естественном состоянии, по вышеизложенным критериям в каждом природном регионе составляет менее 15 % от общей площади.

10. В охраняемый фонд включаются торфяные месторождения, находящиеся на территории особо охраняемых природных территорий.

11. В охраняемый фонд включаются торфяные месторождения и заболоченные территории, соответствующие критериям международной значимости, представляющие собой уникальные для данной территории водно-болотные угодья (по заключению ученых).

12. В зонах широкого развития осушительных работ в охраняемый фонд включаются не менее 40–50 % площади остав-

шихся болот и все олиготрофные болота, расположенные на водоразделе.

Земельный фонд. Некоторые месторождения наиболее эффективно могут быть использованы после осушения как сельхозугодья (пашни, пастбища, сенокосы) или для лесоразведения. Опыт показал, что в этом направлении наилучшие результаты получены на месторождениях низинного и переходного типа.

В качестве сельхозугодий целесообразно выделять месторождения, расположенные в зоне, перспективной для развития сельского хозяйства. Лесной фонд могут составлять отдаленные, более заболоченные и с большей мощностью торфяной залежи месторождения.

К объектам земельного фонда будем относить:

1) мелкозалежные месторождения торфа, в которых средняя глубина не превышает 1,3 м;

2) высокозольные торфяные месторождения (зольность более 35 %) с содержанием в залежи железа более 3 %;

3) торфяные месторождения низинного и переходного типов на территориях, планируемых под лесопользование.

Неиспользуемый или резервный фонд включает в себя торфяные месторождения и заболоченные территории, направление использования которых не определено или которые по каким-либо причинам в настоящее время не используются.

Торфяные земли как уникальные природные образования легко ранимы и изначально требуют к себе отличного от минеральных почв подхода при их эксплуатации.

Степень изменения экосистем при формировании мелиоративных агроландшафтов определяется качеством проведения мелиоративных работ, сроком их эксплуатации и спецификой использования в сельскохозяйственном производстве, что напрямую влияет на уровень плодородия органогенных почв.

Являясь достаточно неустойчивыми и склонными к деградации природными образованиями, торфяные почвы требуют разработки таких систем земледелия, которые могли бы максимально долго сохранять экологическое равновесие, предотвращали бы сработку органогенного слоя, то есть обеспечивали бы устойчивость мелиоративного агроландшафта и сводили бы к минимуму негативные последствия антропогенного воздействия. Ниже приведена ландшафтно-мелиоративная характеристика торфя-

ных земель, которые сформировались на различных системах болот с единым гидрологическим режимом.

Мы выделили два типа агроландшафтов, резко отличающихся по ботаническому составу и агрономической ценности органогенного материала: разнотравно-древесные ассоциации торфов и мохово-разнотравные торфа. Их специфические различия диктуют несколько различные подходы к формированию адаптивных систем земледелия.

На основе типового подразделения выделено четыре крупные основные группы торфяников, требующих принципиально различных подходов при их мелиорации и адаптивно-ландшафтном земледелии:

1А. Низинные лесные, лесотопяные и травяные группы топяных залежей.

1Б. Низинные моховые и травяно-моховая группы.

2А. Переходные торфяники лесного типа в целом и древесно-травяную группу лесотопяного типа, травяную (осоковую) группы топяного типа.

2Б. Древесно-моховая, травяно-моховая и моховая группы.

В классификации предполагается использование различий в свойствах разных ассоциаций древесно-травяных торфов и мохово-травяных. Особенно важно резкое различие в податливости этих групп к деградации (сработке) торфяников. Эти группы торфяников также резко различаются по зольности и запасам питательных веществ, исходной степени разложения и гумифицированности, следовательно, и по плодородию.

Группа А – различные ассоциации древесных торфов – более богата исходным плодородием. Б – группа (моховые) более обеднена. Так, в древесных торфяниках группы 1А – торф хорошо гумифицирован – содержание гуминовых веществ до 40–50 %, а Б – группы (моховых) – лишь 10–20 %. Причем здесь увеличивается содержание фульвокислот, целлюлоз, гемицеллюлоз, воскосмол и лигнина.

Зольность в группах А (древесных) больше 10 % и достигает 20 %. Наибольшей степенью разложения в естественном состоянии обладают торфяники А группы, до 50 %.

Регламентировать при мелиорации, освоении и использовании торфяных болот с адаптивно-земледельческими целями и учетом географического фактора можно следующим образом:

1. Группы 1А и 2А при мощности больше 1,3 м и степенью разложения более 35–40 % можно использовать под зерновые культуры, а при 45–50 % степени разложения – под пропашные культуры, то есть использовать под все культуры и, следовательно, глубоко мелиорировать с нормой осушения не менее от 80 см до 1 м 20 см.

2. Группы Б1 и Б2 – мощность более 1,3 м, степень разложения больше 35 %, в северных, северо-западных и восточных регионах можно использовать в севооборотах с зерновыми, при более 45 % степени разложения – пропашными культурами.

Для этих же групп в центральных, южных и юго-западных районах рекомендуется после мелиорации залужение.

3. Группы А – не подлежат освоению массивы с мощностью торфяной залежи менее 0,7 м при степени разложения менее 35 %, освоение возможно для лесоразведения.

Остальные мелкозалежные торфяники группы 1А подлежат освоению с обязательным залужением.

4. Группы 2А, 2Б и 1Б – не подлежат освоению в качестве сельхозугодий торфяники мощностью менее 0,7 м. Возможно только освоение для лесоразведения. Для торфяников группы 1Б, 2Б и 2А мощностью 0,7–1,3 м требуется обязательное залужение.

5. И, наконец, группа 2Б – менее 1,3 м мощности и меньше 20 % степени разложения, в центральных южных и юго-западных районах не подлежат освоению вообще.

Анализ отечественной и зарубежной научной литературы, накопленных экспериментальных материалов для низинных торфяников Яхромской поймы, необходимых при подборе наиболее приемлемых для современного хозяйства элементов адаптивных систем земледелия позволил вычлнить наиболее экономичные и экологически чистые системы земледелия.

Наиболее приемлемые рекомендованы в производство для низинных (эутрофных) торфяников в пределах отдельных хозяйств Яхромской поймы. Проведены разработки по отдельным направлениям – системам обработок почвы, системам удобрений, севооборотам, системам защиты растений на торфяных мелиорированных почвах низинного типа.

Адаптированные системы земледелия на мелиорированных торфяных почвах низинного типа с учетом всего комплекса факторов предлагаются на самом низком таксономическом уровне. Раз-

рабатываются и регламентируются элементы систем земледелия на торфяных почвах обязательно с учетом ботанического состава торфа.

Для исключения деградационного, экологически опасного использования торфяных земель регламентированы параметры основных элементов систем земледелия на органогенных почвах.

Наиболее общие рекомендации при использовании торфяных почв следующие:

- исключение чистых паров;
- использование пропашных культур не более 3 лет подряд;
- включение в севообороты посевов многолетних трав.

Севообороты разработаны с учетом биологических особенностей органического вещества торфяной залежи, ее мощности, степени разложения, климатических условий, агротехники возделывания сельскохозяйственных культур.

Хорошо окультуренные, прошедшие первую стадию осадки и трансформации торфяные почвы после периода экстенсивного земледелия с высокой долей в севообороте трав рекомендуется включать в интенсивную систему земледелия, то есть насыщать севообороты пропашными и овощными культурами.

При наличии деградационных процессов площади торфяных земель после интенсивных систем земледелия необходимо переводить на экстенсивные для восстановления утраченного плодородия.

Нами предложены различные варианты севооборотов для адаптивно-ландшафтных систем земледелия на торфяных землях с учетом их практической необходимости, специализации хозяйств, степени и норм осушения, типа почв и пригодности их под те или иные культуры.

Предложена система основных обработок торфяных почв в севообороте с разработкой технологических карт для основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на торфяных почвах.

Разработана система удобрений, учитывающая специфику почвообразовательных процессов в органогенных почвах, особенности сельскохозяйственных культур, сезонную динамику основных элементов их питания, обеспеченность микроэлементами торфяных почв, биологическую активность в пахотном слое.

Агрономическая оценка торфяного массива как угодья внутри выделенных групп торфяников должна проводиться по показателям:

- 1) степень разложения торфа;
- 2) содержанию N, P, K;
- 3) состав органических веществ;
- 4) реакция среды;
- 5) физические свойства.

Степень разложения торфа определяет большой комплекс агроэкологически важных свойств и взаимосвязи со всеми свойствами торфяной почвы, поэтому в значительной мере определяет агроэкологическую безопасность их сельскохозяйственного использования.

По величине и степени разложения торфяники можно распределить по уменьшению ее в ряд групп 1А, 2А, 1Б, 2Б. Примерно в этом же направлении снижается содержание гумифицированных веществ, в том числе гуминовых кислот, возрастает содержание фульвокислот, особенно в моховых ассоциациях, увеличивается в этом ряду и содержание целлюлоз, гемицеллюлоз, лигнина и воскосмол.

Наиболее устойчивы к деградации торфяники группы 1А – древесные и древесно-разнотравные торфа, поэтому они наиболее перспективны для сельскохозяйственного использования и на них возможно применение типовой модели системы земледелия. Но при мощности торфяной залежи более 60–80 см, темпах сработки торфа не более 0,5–0,6 см в год, нарастания 0,02 г/куб. см объемной массы и 0,05 % зольности. Если темпы изменения этих показателей выше, то имеют место деградация торфяника и экологически необоснованное его использование.

Торфа группы 1Б и 2Б, то есть гипновые, осоково-гипновые и другие торфа с высоким содержанием моховых ассоциаций требуют корректировки типовой модели системы земледелия в сторону насыщения севооборотов травами до 80 % и в некоторых случаях полного залужения для обеспечения противодеградационных процессов на торфяниках. Но и в этом случае мощность торфяного слоя должна превышать 0,5 м, тогда как при меньшей мощности торфяного слоя любое сельскохозяйственное использование торфяников, даже в качестве сенокосов и пастбищ под многолетними травами, не сохранит его от быстрой и полной минерализации. Многолетние травы могут продлить жизнь торфяника только на почвах с более мощной залежью, при условии регулирования водного режима и интенсивного применения удобрений.

Сбалансированное, малодеградационное использование торфяных почв с нормативными изменениями показателей окультуренности почв возможно при правильном использовании севооборотов в каждом конкретном регионе на определенном виде торфа.

Основные площади торфяных почв независимо от направленности хозяйства наиболее целесообразно занимать под многолетние травы, но доля многолетних трав в севооборотах в разных регионах может быть разной.

Так, для торфов группы 1А – центральной области и южной подзоны в овощных, полевых, овоще-кормовых севооборотах доля трав может быть 30–40 %, на севере в овоще-кормовых и кормовых севооборотах доля трав – 65–80%, на северо-западе в лугово-кормовых севооборотах их доля достигает также 65–80 %, а на востоке в полевых, овоще-кормовых севооборотах она составляет 40–55 %. Для пойменных высокозольных торфяников наиболее приемлемы овощные, овоще-кормовые и пропашные севообороты, где долю многолетних трав можно снизить до 30–40 %.

Таким образом, экологически безопасная эволюция торфяных почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, может быть достигнута только определенной системой земледелия, включающей специфические бездеградационные севообороты, системы удобрений и обработок.

2.2. Изменение базовых показателей при трансформации низинных торфяных почв – эутрофных торфоземов при длительном использовании в постмелиоративный период

Особенности трансформации агроэкологического состояния эутрофных торфоземов в условиях длительного сельскохозяйственного использования изучали на полигонах Дмитровского филиала (ДФ) ВНИИМЗ на Яхромской пойме Дмитровского района Московской области.

Практика агроэкологического мониторинга состояния торфяных почв при длительном сельхозиспользовании в постмелиоративный период нами исследовалась детальным образом на основе агроГИСобследования торфяных почв.

Хорошо известно, что эутрофные торфяные почвы, в отличие от минеральных, одна из наименее устойчивых групп почв гумидных ландшафтов, но их ранимость изучена на первых этапах трансформации под действием мелиорации.

Изучение наиболее поздних сроков – близких к столетнему использованию осушенных и вовлеченных в сельскохозяйственное производство торфяных почв, как это проявляется на Яхромской пойме, указывает на возникновение новой фазы эволюционного развития, которая сопровождается глубокой трансформацией свойств и режимов торфяных почв.

Общая формула для профиля данных почв такова:

Апах 0–30–40 см – оземленный торф без признаков растенный-торфообразователей;

Тперех 30–50 см – также оземленный, но с единичными остатками растений;

Т1 50–90 см – среднеразложившийся торф;

Т2 – ниже 90 см – неразложившийся рыжий торф, быстро темнеющий на воздухе.

Экологическая неустойчивость потенциально плодородных низинных торфяных почв приводит в большинстве случаев к преобладанию процессов деструкции органического вещества над процессами его синтеза. В связи с этим наиболее актуальным является решение двух задач:

- 1) оптимизация эффективного плодородия торфяных почв;
- 2) экологическая защита и охрана торфяных почв.

В современных условиях интенсивное использование осушенных торфяных почв – актуальная проблема экологии и охраны окружающей среды, так как оно приводит к существенному изменению основных компонентов агросистем.

Осушенные торфяные почвы, обладая высоким исходным потенциальным плодородием, интенсивно использовались в сельскохозяйственном производстве с высокой экономической эффективностью. Но, как отмечалось, эти почвы экологически неустойчивы: в них интенсивно минерализуется органическое вещество, они подвержены ветровой эрозии и периодическим пожарам.

Ускоренная эволюция осушенных торфяных почв определяется балансом органического вещества и их основного компонента – углерода. Ввиду этого возникает необходимость постоянного мониторинга экологического состояния осушенных торфяных массивов и проведения защитных мероприятий, способных максимально сохранить природные ресурсы торфа.

На Яхромской пойме расположены два агрополигона ДФ ВНИИМЗ: участок «Ближний», осушаемый с 1914 г., и «Даль-

ний», интенсивная мелиорация которого ведется с 1961–1965 гг. (рис. 2.1).

Чтобы выявить тренд трансформации торфоболотных ландшафтов и почвенного покрова при длительной антропогенной нагрузке, используя GIS/GPS, проведены определенные работы.

1. Оцифрованы старые карты объектов исследования и осуществлена GPS-привязка старых и современных карт следующим образом: с помощью прибора GARMIN GPS-72 были определены координаты основных граничных точек агрополигонов – участков «Ближний» и «Дальний».

Растровая базовая карта этих участков была оцифрована и привязана к географическим координатам, определенным прибором GARMIN GPS-72 с помощью программы MapInfo. Накладывая на нее сканированные «старые» карты с отмеченными точками отбора образцов в разные годы исследований были определены географические координаты этих точек (программы PhotoShop, PaintShop, MapInfo).

2. Проведен отбор с GPS-привязкой почвенных образцов по точкам старой карты. Нами выбрана наиболее полная карта 1973 г. и фрагментарно использованы карты разных лет начиная с 1922 г. (рис. 2.1, 2.2).

3. Проведен химический и биохимический анализ почвенных образцов современными и традиционными методами в разные годы исследования. Для 1922 и 1973 гг. использовали архивные данные.

4. Проводили измерение электрического сопротивления в точках отбора образцов и самих образцов.

5. На основе полученных данных проведен детальный анализ трендовой трансформации почвенного покрова базовых агрополигонов Яхромской поймы двух временных уровней освоения и длительного сельскохозяйственного использования: 100- и 50-летнего. Сравнивали почвенные свойства 1922, 1972 и 2014–2016 гг. на основе ГИС.

6. Используя сравнение торфяных почв разных сроков и способов освоения и естественных низинных торфяных почв, оценивали экологические риски, связанные с эмиссией парниковых газов в условиях сочетания непосредственной антропогенной нагрузки (осушение, использование в сельском хозяйстве) и глобальных изменений климата в ближайшие годы (2014–2016 г).

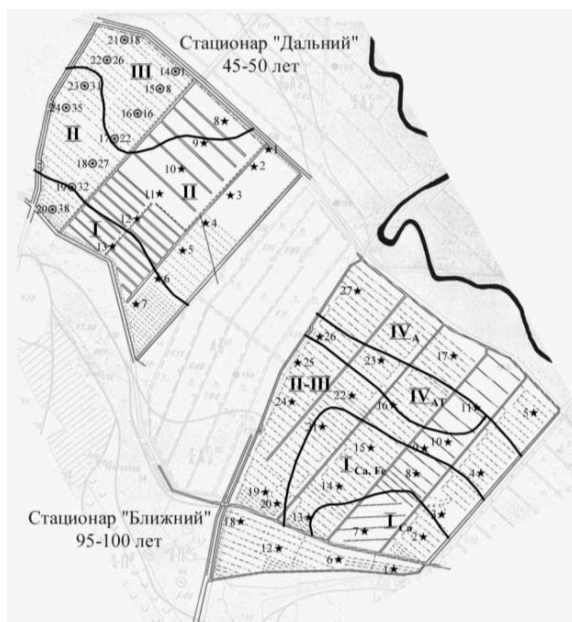


Рис. 2.1. Стратиграфические участки ДФ ВНИИМЗ (ЦТБОС).
 Почвенные контуры: I, I_{Ca}, I_{Fe} – эутрофные торфоземы на разнотравно-гипновом и гипновом торфе, в некоторых случаях с обогащением карбонатами и карбонатно-железистыми отложениями; II – эутрофные торфоземы, развитые на древесном торфе, подстилаемые залежью травяного, осокового торфа; III – эутрофные торфоземы, развитые на мощной древесной торфяной залежи; IV_A, IV_{AT} – торфоземы агроминеральные

Как было отмечено выше, для сравнительной оценки трансформации агроторфяных почв разных сроков освоения в процессе длительного антропогенного воздействия использовали ГИС-технологические подходы. За основу схемы отбора образцов взяты точки отбора в 1973 г. (рис. 2.1), для которых проведено детальное агрохимобследование.

Нами построены и проанализированы электронные карты обширного перечня свойств торфов и почв: зольности, валового состава элементов питания, подвижных элементов питания, ЕКО, разных видов кислотности, микроэлементов в слое 0–30 см и 30–50 см для 1922, 1973 и 2012 гг. Всего более 40 карт с четкой ГИ-

Совской привязкой. Здесь приведены лишь некоторые из них, на которых основан анализ трансформации массива за 100-летний период.

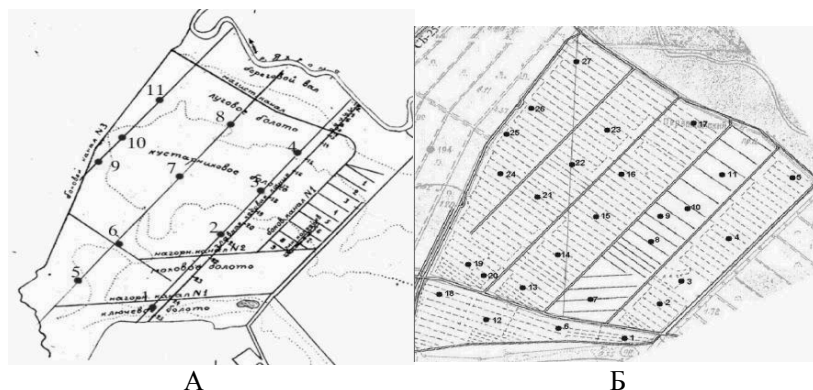


Рис. 2.2. Точки отбора образцов на участке «Ближний»: А – 1922 г., Б – 1973 и последующие годы

На картах изолиний свойств наглядно видно, что содержание зольных элементов значительно увеличилось в 1973 г. по сравнению с 1922 г. По аналогичным картам также можно сделать выводы о распределении других химических и электрических свойств, а также микроэлементов в пахотном и подпахотном слое за 50 и 100 лет интенсивного использования.

Заметим, что наименьшее влияние антропогенных воздействий оказалось на древесно-осоковом и древесно-разнотравном торфах центральной части Яхромской поймы. Примечательно, что изученные свойства, так или иначе, взаимосвязаны, особенно для 1973 г., в результате 50-летнего антропогенного воздействия.

В первую очередь следует отметить, что ряд свойств, таких как зольность, SiO_2 , ЕКО, в меньшей мере гидролитическая кислотность, связаны с исходной структурой стратиграфии торфяников и затем, в процессе ее трансформации, сопряжены с организацией почвенного покрова уже торфяных почв.

В 1922 г. такого взаимодействия между зольностью и содержанием SiO_2 не было, что обусловлено в первую очередь малой зольностью и малым содержанием SiO_2 в торфах. Тем не менее структура болота по стратиграфии определяет распределение ряда таких свойств, как нерастворимый остаток, зольность и в

некоторой мере железо и алюминий. С другой стороны, зольность практически функционально связана с содержанием SiO_2 (с коэффициентом корреляции, близким к 1) для данных 1973 г. Важно, что к этим, скажем, структурно обусловленным свойствам почв, можно отнести электрическое сопротивление и потенциальную микробиологическую активность (дыхание) в этих почвах.

Сравнение тенденции изменения ряда почвенных свойств 1922, 1972 и 2012 гг. выявляет нарастание зольности, падение емкости поглощения (рис. 2.3).

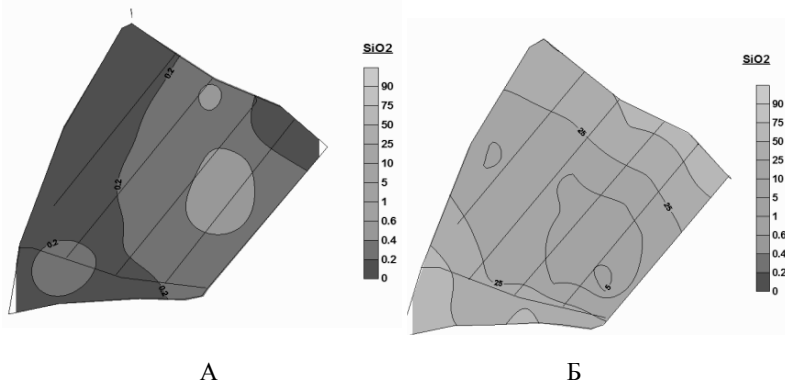


Рис. 2.3. Распределение зольности на участке «Ближний»: А – 1922 г. Слой 0–25 см, Б – 1972 г. Слой 0–30 см

Распределение зольности в 1922 г. достаточно строго связано со структурой болота, будущего стационара «Ближний». Наименьшей зольностью обладало кустарниковое болото центральной части поймы. Прирусловая и притеррасная части поймы имели повышенное содержание зольности в силу минерального материала в притеррасье и прируслового минерального наноса.

Итак, в результате 50-летней антропогенной нагрузки в центральной части поймы расширилась зона зольности в 25 %. В прирусловой и притеррасной части изменилась конфигурация распределения зольности, что связано, на наш взгляд, в первую очередь с припашкой минерализованного материала и речного наноса.

В центральной пойме верхний горизонт практически полностью состоит из органического вещества со сравнительно малыми примесями минеральных частиц. Оно высокодисперсно, обладает значительной емкостью катионного обмена. Несмотря

на высокую емкость катионного обмена, здесь крайне низка зольность и высока доля обменного H^+ в ППК.

В прирусловой и притеррасной пойме зольность может достигать 60–70 %; это уже оторфованная минеральная почва, обладающая структурой и не содержащая сохранивших черты строения растительных остатков. Органическое вещество уже более устойчиво и интенсивность его разложения здесь ниже. В ППК и почвенном растворе, помимо H^+ , присутствуют ионы алюминия.

В последней стадии, после 50–70 лет, агроторфяные почвы вступают в этап стабильной эволюции и, в зависимости от практики ведения хозяйства, требуют выработки нормативов, обеспечивающих их природоохранность при длительном антропогенном воздействии что может быть основано на различиях в составе золы древесных и травяных торфов, с одной стороны, и мхов – с другой.

Для характеристики и выявления особенностей агроэкологического состояния торфяных окультуренных почв при нынешней стратегии сельскохозяйственного использования в ходе проведенных экспериментов был получен ряд параметров, описывающих состояние торфоземов разных сроков использования и ботанического состава (табл. 2.1).

Получены следующие различия.

Влажность. Гидрологические условия осушенной территории оказывают первоочередное влияние на трансформацию торфяных почв. Неблагоприятная гидрологическая обстановка может привести к крупным экологическим проблемам, что особенно актуально в последние годы в связи с аномально высокими температурами в летний период. Недостаточная увлажненность приводит к особо быстрой деградации и ухудшению состояния торфяных почв.

Оба участка сильно различаются и дифференцированы внутри по величинам влажности. Надо отметить, что влажность торфяных осушенных почв варьирует в довольно широких пределах в зависимости от положения на территории поймы относительно осушительных систем. Наиболее иссушенные почвы расположены в непосредственной близости от осушительных каналов (усредненная влажность здесь составляет $132,63 \pm 9,33$ % для Дальнего участка и $77,35 \pm 16,57$ % для Ближнего). На Ближнем участке самая иссушенная область имеет такие низкие величины

влажности относительно других областей из-за того, что именно здесь наблюдаются минерализованные прирусловые органо-минеральные почвы и, следовательно, самые высокие величины зольности, а почва представляет собой торфозем агроминеральный.

Таблица 2.1

Параметры, описывающие состояние торфоземов разных сроков использования и разного ботанического состава

Свойство	Дальний			Ближний (100 лет)		
	I	II	III	I	II-III	IV
Электрическое сопротивление	8,57±1,64	10,26±0,96	9,98±1,82	7,83±1,2	10,39±1,63	10,89±3,84
Зольность, %	22,88±10,75	26,39±3,57	27,54±2,93	38,48±4,74	32,77±2,5	54,3±8,23
Углерод, %	33,47±7,97	31,6±2,71	33,86±3,48	24,82±2,98	27,02±1,63	16,12±3,13
Актуальное дыхание, мкм/г сут	1,61±0,3	1,45±0,14	1,44±0,175	1,745±0,17	1,34±0,25	1,09±0,25
Потенциальное дыхание, мкм/г сут	15,34±6,42	22,88±1,08	21,52±1,44	13,44±1,63	16,39±1,53	12±2,02
pH (водный)	5,18±0,39	4,96±0,087	5,25±0,08	6,62±0,45	5,63±0,12	5,74±0,29
P2O5	3,03±1,16	1,93±0,67	1,64±0,46	1,9±0,69	1,86±0,28	3,13±0,66
K2O	10,77±0,79	8,87±1,9	19,37±4,47	11,81±2,43	16,17±4,04	10,91±1,76
NO3	8,14±1,29	11,52±1,78	11±2,31	15,94±7,06	9,93±2,33	8,14±2,4

Усредненные влажности в целом по участкам нельзя считать статистически различными – усредненная влажность по Ближнему участку 132,8±17,3%, по Дальнему – 148,8±11,1%. Это говорит о том, что различия в сроке использования не являются определяющими для величин влажности и соответственно влагозапаса.

Зольность. Одним из двух основных факторов, определяющих агроэкологическое состояние торфа и его пригодность к сельскохозяйственному использованию является зольность (рис. 2.3). Из-за особенности формирования торфяной залежи, перестилаемой речным аллювием, залежь характеризуется высокой зольностью не только

из-за зольности растений торфообразователей, но и из-за минеральных отложений в приустьевой части поймы.

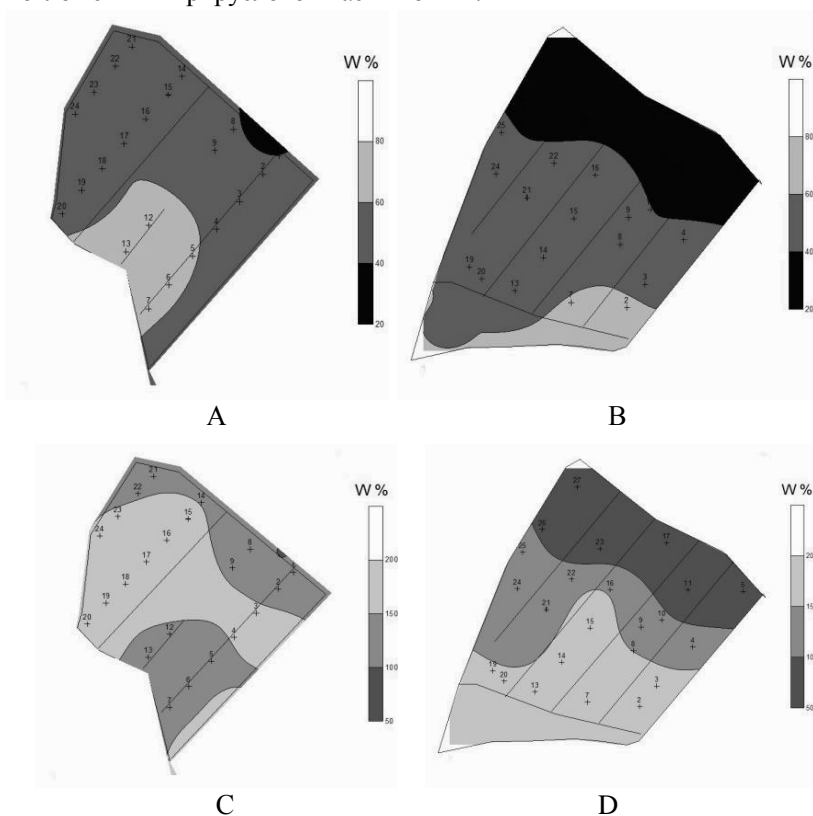


Рис. 2.4. Распределение влажности в пахотном горизонте торфяных почв (слева участок 50-летнего использования «Дальний», справа – 100-летнего использования «Ближний»). А, В – объемная влажность; С, D – естественная влажность

Если сравнить между собой усредненные значения зольности по участкам с разным сроком использования (включения минеральных почв при анализе не брались в расчет), то с достоверной вероятностью можно утверждать: зольность на Ближнем участке ($40,37 \pm 5,15$ %) больше, чем на Дальнем ($26,09 \pm 3,5$ %).

Это подтверждает тот факт, что зольность растет, а содержание органического вещества соответственно падает с увеличением сроков сельскохозяйственного использования из-за

минерализации растительных остатков и органического вещества торфяных почв (рис. 2.5).

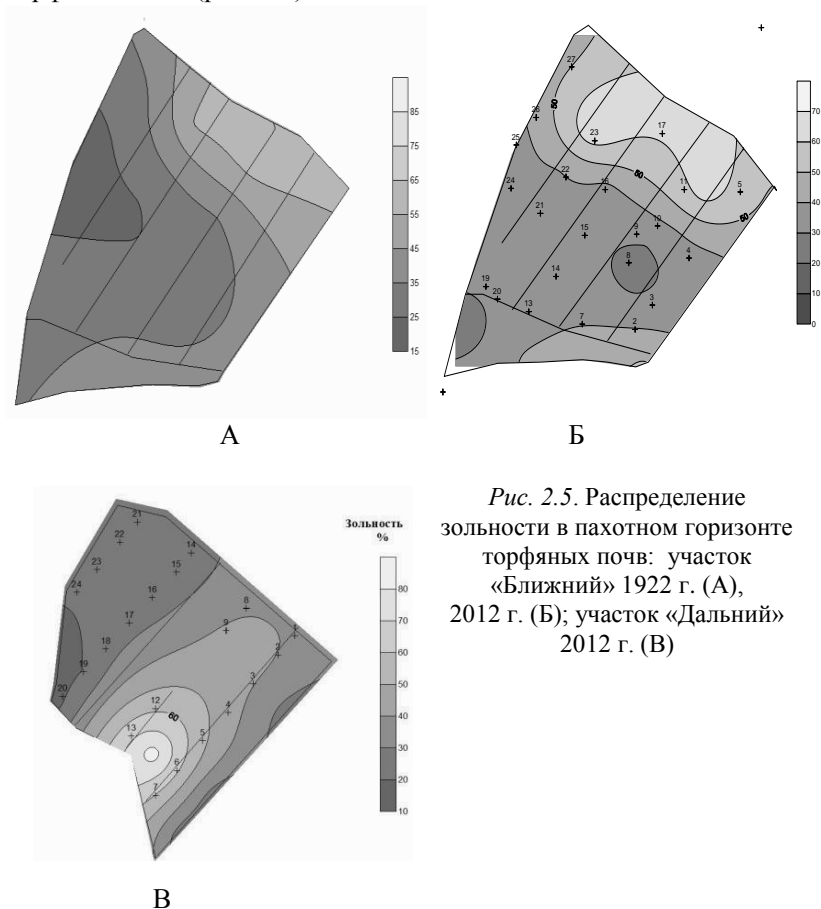


Рис. 2.5. Распределение зольности в пахотном горизонте торфяных почв: участок «Ближний» 1922 г. (А), 2012 г. (Б); участок «Дальний» 2012 г. (В)

Основным компонентом органического вещества торфяных почв является углерод. Оценка динамики содержания углерода в органогенных почвах позволяет оценить экологическое состояние агросистемы. В связи с этим изучение баланса углерода и микробиологической активности торфяных почв приобретает особое значение.

Были проанализированы образцы с каждого квартала в пределах центральной части поймы (табл. 2.2). В результате наложения на изначальную продольную дифференциацию поймы попе-

речного членения на кварталы, ограниченные мелиорационными каналами и различающиеся особенностями мелиорации и агротехники, в распределении содержания углерода наблюдается высокая степень неоднородности. При этом если сравнивать содержание углерода в целом по участкам, различия определяются прежде всего сроками освоения данных почв. На участке 100-летнего использования содержание углерода составляет $23,41 \pm 2,7$ %, тогда как на участке 50-летнего использования – $32,76 \pm 2,7$ %.

Таблица 2.2

Содержание углерода и интенсивность потенциального дыхания по кварталам

№ квартала	№ точек, соответствующих кварталу	Углерод, %	Потенциальное дыхание, мкм/г сут
1 квартал	1-5	$19,75 \pm 7,19$	$12,98 \pm 4,68$
2 квартал	6-11	$21,24 \pm 7,85$	$13,32 \pm 4,16$
3 квартал	12-17	$25,9 \pm 8,13$	$13,74 \pm 4,55$
4 квартал	18-23	$23,95 \pm 8,84$	$14,52 \pm 4,52$
5 квартал	24-27	$25,99 \pm 8,43$	$16,79 \pm 4,35$
6 квартал	1-7	$29,13 \pm 5$	$22,24 \pm 3,49$
7 квартал	8-9	$23,63 \pm 12,53$	$21,39 \pm 11,56$
8 квартал	14-24	$36,78 \pm 1,87$	$19,95 \pm 3,66$

Длительное использование торфяников под овощные и кормовые культуры в условиях применения интенсивных технологий внесло значительные изменения и в структуру микробиоценоза, его функциональную деятельность. В структуре микробиоценоза торфозема относительное содержание актиномицетов за последние 40 лет увеличилось с 15 до 80 %, а количество сапрофитных бактерий уменьшилось с 70 до 20 %. По коэффициентам олиготрофности старопахотный торфяник обеднен легкоподвижными формами органики и легкогидролизуемого азота и в сравнении с 70-ми годами ниже в 7–10 раз. По такому показателю биологической активности, как потенциальное дыхание, также прослеживается влияние времени сельскохозяйственного использования: оно составляет $14,22 \pm 1,5$ мкм/г сут. на Ближнем участке и $20,86 \pm 2,29$ мкм/г сут. – на Дальнем.

Уменьшение интенсивности дыхания со временем сельскохозяйственного использования связывается нами с истощением запасов органики, а также изменением ее качественного состава.

Процессы, приводящие к газообразным потерям углерода, продолжающиеся в течение десятилетий, приводят к относительной аккумуляции зольных элементов.

Старопахотные торфяники характеризуются недостатком легкодоступного органического вещества. Пополнению его пула не способствуют ни водно-физические условия, в которых существуют торфяники после осушения, ни обилие в севообороте пропашных культур, после которых остается мало пожнивных остатков. И это в лишний раз подчеркивает, что на торфяных почвах весьма эффективно будет внесение органических удобрений.

Таким образом, проведенные исследования показали особое значение изучения торфяных почв после длительного сельскохозяйственного использования для оптимизации их агроэкологического состояния. Это связано с тем, что длительное сельскохозяйственное использование отражается на свойствах торфяных почв следующим образом:

- происходит увеличение зольности в результате минерализации органического вещества;
- уменьшается содержание углерода;
- вследствие уменьшения запасов органики, главным образом растворимой, меньше интенсивность потенциального дыхания.

2.3. Оценка биологического состояния торфоземов при длительном выращивании овощных культур

Экологические проблемы сельскохозяйственного использования торфоземов

Практика и наука выявляют, что длительное интенсивное использование эутрофных почв, изначально плодородных, часто обуславливает возникновение целого комплекса экологических проблем, связанных с резким ухудшением физико-химических, биологических свойств, «утомлением» торфяников, снижением урожайности сельскохозяйственных культур.

На наш взгляд, особенно обостряются экологические проблемы в настоящее время – в пору вхождения сельскохозяйственного производства в рыночную экономику, передачу таких уникальных почв в собственное пользование, длительную аренду, что, естественно, предусматривает только одну цель – урожай и прибыль любым путем.

Кроме того, сейчас ослаб контроль за качеством продукции, не проводятся агрохимическое и биологическое обследование старопашотных торфяников. А ведь известно, что биологические свойства, нормальное функционирование микробного сообщества – один из главных факторов плодородия почв. Для естественных экосистем характерен свой оптимум микробиологической активности, и выход за его пределы (в сторону повышения или понижения) может быть вредным.

В торфяниках отмечаются высокие коэффициенты олиготрофности в отношении легкоподвижной органики и легкогидролизуемого азота. В пахотном слое исчезают многие агрономически полезные микроорганизмы (сапрофитные бактерии, свободноживущие азотфиксаторы), дождевые черви, микроскопические водоросли. Часто встречаются актиномицеты и грибы, выделяющие токсины.

Резкое снижение сапрофитных бактерий, их видового разнообразия (а среди этой группы много деструкторов гербицидов) нередко приводит к снижению способности самоочищения от агрохимикатов, что наряду с другими факторами определяет токсичность почвы. Поэтому воспроизводство плодородия торфяников связано именно с улучшением биологической составляющей плодородия, и наша главная задача – обеспечение наличия факторов оптимального функционирования биоты, биологической активности.

Микрофлора, органика

В качестве критерия оценки биологического состояния пойменных почв длительного сельскохозяйственного использования и эффективности агроприемов применяли некоторые наиболее информативные показатели. Анализ взаимосвязи этих показателей и урожайности сельскохозяйственных культур свидетельствуют, что к ним можно отнести соотношения: сапрофитных бактерий (МИД) и актиномицетов (КАА) в структуре микробиоценоза (МПА/КАА), аммиачного и нитратного азота ($N-NH_4 : N-NO_3$), а также активность фермента каталазы и токсичность почвы.

Оптимальные параметры биологических свойств, соответствующие максимальной урожайности, следующие: численность сапрофитных бактерий около 10 млн клеток/г с. п., а соотношение НПА/КАА – близкое к 1. Показатель устойчивости экосисте-

мы N–NH₄ : N–NO₃, около 1 и выше, активность каталазы – 7–10 MnO₂/ г с. п. /мин., токсичность почвы не выше 20 %.

Нами также были использованы такие показатели, как микробное образование CO₂ («дыхание») и азотфиксация в почве, а также распространение дождевых червей.

Концепция воспроизводства биологической составляющей плодородия торфяников заключается в определении наиболее важных факторов, оптимизирующих параметры биологических показателей и обеспечивающих экологическую безопасность этих почв. На наш взгляд, таковыми являются: запасы легкоподвижной органики, оптимальные дозы агрохимикатов, минимизация механической обработки почвы.

Исходным принципом здорового сельского хозяйства, продуктивного в течение долгого времени, является знание порогового значения данного пахотного слоя. Почва будет здоровой, если в равновесии находятся три главных процесса:

а) наличие и разложение сырых веществ (листья, корни, мертвые растения, животные и микроорганизмы), необходимые для образования гумуса;

б) восстановление устойчивых гумусных веществ;

в) сохранение или потеря восстанавливающих веществ [11].

По современным представлениям, урожай является функцией четырех основных взаимосвязанных факторов: растений, почвы, климата и биоты. При этом важнейшим фактором признается органическое вещество (особенно его подвижная часть), являющееся энергетическим ресурсом, в первую очередь, влияющим на экологическую среду, благоприятствующую жизни растений и микроорганизмов [8].

Экспериментами подтверждается решающая роль гумуса (при особой важности лабильного органического вещества (ЛОВ) на биологический балл почвы (биологический балл = гумус + активность ферментов + целлюлозолитическая способность + CO₂ + O₂ + корневые гнили + сорняки). Даже на высокогумусных органических почвах (чернозем) показано положительное влияние ЛОВ на эффективность плодородия [4, 9].

Внесение свежей органики на черноземах в виде растительных остатков под капусту и томаты увеличивало урожай культур на 24–27 % [5]. При недостатке источников питания (ЛОВ) интенсивно используется углерод и азот почвенного перегноя, идет

сработка торфа. Непрерывное поступление свежей органики активизирует несимбиотическую фиксацию азота [3], увеличивается содержание в почве легкогидролизуемого азота, а фосфор из труднодоступного переходит в усвояемое состояние [14]. Рекомендуется увеличить поступление в почву севооборота пожнивно-корневых остатков. Активную часть гумуса (ЛОВ) можно пополнить в относительно короткий срок, проводя целый комплекс агрономических мероприятий.

Роль свежей органики в улучшении структуры микронаселения почвы наглядно демонстрируется данными опытов с растениями и в пару.

Растения и микрофлора

Растения воздействуют на почву (соответственно на микрофлору и биохимическую активность), обогащая её растительными остатками. В то же время в пару (или под пропашной культурой) используются органические соединения самой почвы. Велико и многогранно значение корневых выделений. Они способствуют превращению трудноусвояемых веществ почвы в легкодоступные соединения, обогащают верхний слой органическими веществами, регулируют развитие и деятельность почвенной биоты. В этом плане показательно распространение микроорганизмов в торфяной почве с растениями и в пару (табл. 2.3): значения всех биологических показателей (наиболее близко связанных с водорастворимой органикой) в зоне корня растений превышают таковые в пару (без растений).

Влияние растений ощутимо не только в верхних, но и в более глубоких слоях. Так, на площадках с растениями численность сапрофитных бактерий в 2–2,5 раза выше, чем в пару. Показательно, что там же увеличивается доля неспорозоных бактерий *Pseudomonas fluorescens* (сильнее всего реагируют на свежую органику). В слое 0–40 см под растениями их процент от общего числа 40, а в парующей почве – 26. Возрастает активность инвертазы (трансформирует легкогидролизуемые углеводы). Активность каталазы напрямую связана с вегетирующим растением и органикой. Эта зависимость четко прослеживается в динамике фермента: изменяясь в течение вегетационного периода под влиянием общих факторов, она активизируется в большей степени в зоне растения и растительных остатков.

Влияние растений на биологические свойства эутрофного торфозема (культура – овес)*

Глубина слоя, см	Участок	Бактерии на МПА			Акциномицеты	Грибы	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г п. за 24 ч
		все-го	в том числе				
			спорообразующие	флюоресцирующие			
0-10	Без растений	5867	999	987	8316	23	19,4
10-20		3600	895	705	4381	22	16,8
20-30		388	119	127	770	3,0	7,6
30-40		160	45	56	524	1,4	4,9
0-10		14202	1410	2596	10510	71	32,0
10-20		6365	752	2243	8673	55	21,0
20-30		717	273	250	1733	7,2	11,0
30-40		330	107	223	484	3,0	6,1 t

Примечание: * – микроорганизм в тыс./1 г сухой почвы.

Важным показателем эффективного плодородия торфяников являются их потенциальные возможности в накоплении элементов питания, например минеральных форм азота. Торфяная почва, обогащенная свежей органикой и без неё, заметно различаются по накоплению минерального азота.

По энергии аммонификации (показатель первой стадии разложения растительного материала аммонификаторами (грибами, псевдомонадами, бациллами) паряющие торфа заметно уступают торфам с растениями. Аммонифицирующую способность интересно проследить в динамике: наиболее высокая в моменты разложения остатков – весной и осенью. В парящей почве процесс протекает более плавно, ибо связан лишь с органикой торфа.

Гербициды и органика

На торфяных почвах невозможно получить хороший урожай без уничтожения огромной массы сорняков, поэтому здесь применяют гербициды в дозах, специально разработанных и оптимальных для этих почв. Они выше доз для минеральных почв. Как правило, гербициды разлагаются в торфе под влиянием микробов, не накапливаются в продукции и в объектах окружающей среды. Вопрос в другом. В результате химической прополки с

полей выносятся огромная масса растительности – важного источника питания для микробов. К сожалению, остатки овощных пропашных не восполняют потери органики, поэтому необходимо найти пути в разрешении этого вопроса.

Результаты многолетнего опыта с гербицидами наглядно показывают взаимосвязь биоты с растениями, подвижной органикой. В опыте монокультура картофеля, свеклы. Многолетнее применение (7 лет) – прометрин, линурон, ленацил. Контроли – растения, чистый пар (ручная прополка сорняков), гербицидный пар.

Характеристика состояния почвы по обогащению свежей органикой: на участках с ручной прополкой – постоянное поступление растительного материала отрастающими сорняками. В первые годы применения гербицидов сорняки подавлялись и восстанавливались к концу вегетации. С увеличением длительности использования почва очищалась от сорняков и в большей мере от ленацила. Даже в последствии эти участки были чистыми от сорняков и, таким образом, лишены органики. Именно последнее влияло на биологические свойства, а не действие препаратов, так как последние (остатки гербицидов) в почве не обнаруживались. В составе микробиоценоза в наибольшей степени снижалась численность микроорганизмов и ферментов (50 % и выше), связанных с легкоподвижной органикой, а также их видовой спектр.

Есть еще один важный момент в необходимости повышения запасов лабильной органики, который касается интенсификации микоценоза. Грибы – пионеры освоения растительных остатков и также структуроулучшатели. Особый интерес представляют темноцветные гифомицеты. В процессе жизнедеятельности они образуют темноокрашенные пигменты – меланин, прочно связанный с белковым компонентом клетки. Вместе с мицелием в почву может поступать огромное количество меланина. Есть основание считать весомым вклад грибного меланиногенеза в процессе гумусообразования. С увеличением же длительности сельскохозяйственного использования торфяников, особенно систематической обработки гербицидами, обремененность грибами заметно снижается, а следовательно, и их функции в структуро- и гумусообразования.

Роль лабильной органики в устранении токсичности почвы состоит в следующем. Улучшение биологических свойств старопашотных торфяников, необходимое для восстановления их пло-

дородия, предусматривает устранение почвенной токсичности. «Почвоутомление» рассматривается как природное явление, обусловленное рядом причин: интенсивная химизация, нарушение структуры, физико-химические свойства, недостаток микроэлементов, микроорганизмы-токсикообразователи и др. [1]. Наши исследования подтверждает существующее мнение об основных факторах, вызывающих токсикоз. В естественном состоянии при рН в пределах 5,6-6,5 торфяники нетоксичны или мало токсичны.

«Почвоутомление»

«Почвоутомление» усиливается с увеличением срока интенсивного использования торфа под овощи, особенно в монокультуре. На старопашотных торфяниках токсичность обусловлена: химикатами, монокультурой (преобладает в овощных хозяйствах), микроорганизмами и растениями-токсикообразователями (например, пырей ползучий). В микоценозе торфяников довольно широко распространены микроскопические грибы, выделяющие соединения, ингибирующие рост растений. Это прежде всего пенициллы – доминанты в микоценозе почв поймы. Сильным ингибитором является также часто встречаемый фузариум. Численность же триходермы (санитар почвы) незначительна. Они интенсивнее размножаются в почвах удобренных.

Гербициды на торфоземах могут быть причиной токсичности, достигающей в отдельные периоды (неблагоприятные метеорологические условия, особенно в засуху) значительных величин (30–50 %) и приводящей к потере урожая на 15–20 %. Нежелательно применение одних и тех же гербицидов на одних и тех же полях, поэтому монокультура должна быть исключена в сельскохозяйственной практике на старопашотных торфяниках.

Биологические свойства старопашотных торфоземов

Улучшение биологических свойств старопашотных торфоземов связано с деятельностью не только микроорганизмов, но и таких представителей микронаселения, как дождевые черви – самые значительные производители гумуса в пахотной земле. Они могут производить в год 45–60 т тончайшего гумуса, способствуют образованию дренажа и аэрации почвы, создают рыхлую комковатую структуру. Достаточное количество дождевых чер-

вей – наглядный признак ее естественного плодородия, биологической активности. По этому «барометру» можно судить о плодородии. Любое мероприятие, ведущее к разрушению почвенной органики, способствует изгнанию дождевых червей и бактерий, снижает жизненный уровень почвы. Как правило, они не размножаются при интенсивной химизации. Минерализация почвы наглядно определяется по исчезновению дождевых червей [11]. В условиях продолжительного растительного покрова и обильного поступления органики на пахотных землях обеспечивается благоприятная среда для микрофлоры, дождевых червей и создания биологической спелости почвы. Мы наблюдали за распространением червей на старопахотных торфяниках: четко прослеживается зависимость плотности заселения червей от состояния почвенной среды (целина, пастбище, пашня). На границе целины и пастбища, где хороший травостой, структура торфа и влажно, обнаружено червей 60~100 шт./м². В середине пастбища также с хорошими условиями – 50–60 шт./м². По мере приближения к минерализованной части участка с изреженным травостоем – около 10 шт./м². На пашне с длительным возделыванием пропашных (картофель, свекла) и химикатами ближе к целине 30–40, а в минерализованной части – 10–20 шт./м². Сильно минерализованная часть торфа (глыбы) характеризуется присутствием единичных особей или их отсутствием. На приведенных выше неблагоприятных участках также резко снижается – в 1,5–2,5 раза – активность каталазы, протеазы. Подавляется размножение целлюлозоразлагающей микрофлоры, значительно увеличивается токсичность почвы. Таким образом, улучшение биологических свойств торфяников связано с созданием экологической обстановки, увеличивающей обремененность торфа микрофлорой и дождевыми червями.

Мелиорированные торфяники, как уже отмечалось, являются богатой естественной средой для почвенных микроорганизмов. Однако одной деятельности биоты на старопахотных высокозольных торфах, особенно при весьма ограниченном поступлении свежей органики, недостаточно для того, чтобы обеспечить высокий уровень плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому внесение удобрений не только улучшает условия питания растений, но и изменяет условия существования микроорганизмов. Результаты, характеризующие влияние мине-

ральных удобрений на микрофлору торфяников, противоречивы. Так, на торфяниках Карелии, где процессы минерализации замедлены, полное удобрение NPK заметно стимулирует рост биоты, активность ферментов, интенсифицирует нитрификацию и разложение клетчатки [12]. На торфяниках Белоруссии удобрения или не оказывают существенного влияния на микрофлору, или оно незначительно [7].

Полученный нами экспериментальный материал иллюстрирует положительное влияние удобрения на микронаселение почвы, поэтому эти агрохимикаты мы считаем одним из факторов улучшения биологических свойств на торфяниках, находящихся длительно в сельскохозяйственном обороте. Наибольший эффект обнаруживается при использовании полного минерального удобрения – NPK. При этом не только увеличивается общая численность биоты, но и обогащается их видовой состав. Особенно возрастает численность азотобактера и целлюлозных бактерий. Последние наиболее чувствительны к подвижному азоту.

В результате активизации биохимической деятельности микрофлоры, улучшения условий питания растений возрастает урожайность. На торфяниках дозы удобрений должны быть умеренными или умеренно повышенными. Оптимальные дозы для моркови – $N_{35+35}P_{100}K_{100+70}$, столовой свеклы $N_{60+60}P_{120}K_{240+60}$. Эффективно дробное внесение удобрений (основное и в подкормках). Увеличение доз нецелесообразно, ибо неадекватно приросту овощной массы.

Отсутствие фосфора снижает как размножение микробов, так и формирование урожая. Интересны данные по учету микроорганизмов и урожайности овощной продукции в севообороте с многолетними травами и в пропашном поле. Численность сапрофитных бактерий в пахотном слое торфа по травам выше, чем в пропашном, сбалансированы процессы минерализации и гумификации (по отношению $N-NH_4 : N-NO_3$, 0,8–1,2). Здесь в 2 раза меньше численность актиномицетов (тяготеют к минеральному азоту) и интенсивные процессы минерализации органики торфа ($N-NH_4 : N-NO_3$, 0,3–0,5). Опыты в севооборотах еще раз подтверждают тезис о положительной роли свежей органики в улучшении биологических свойств и устойчивости почвенной экосистемы.

В последнее время возрос спрос на экологически чистую продукцию, так как заметно увеличивается выпуск диетической и

детской продукции. В данном случае заслуживает внимания применение бактериальных удобрений. Важную роль в комплексе агроприемов, обеспечивающих повышение урожайности овощей на торфяниках, играют удобрения на основе ассоциативных азотофиксаторов (в нашем случае – псевдомонады). Агрономическая эффективность этих бактерий связана с обогащением почвы биологическим азотом.

По литературным источникам, ассоциативные азотфиксаторы увеличивают выход продукции (азотобактер, флавобактерии, агробактерии) до 20 %, причем улучшается качество продукции (возрастает содержание крахмала в картофеле на 10–20 %, сахара в столовой свекле на 10–18 %, ускоряется созревание урожая моркови, редиса, томатов).

Важный момент – на участке после разработки пласта трав в почве выражен высокий биологический тонус, отсутствует токсичность, что делает возможным ограничение дозы удобрений, а это выгодно экологически и экономически. Например, для моркови можно снизить дозу $P_{30}K_{45}$, для столовой свеклы – $N_{30}P_{30}K_{45}$. Именно эти дозы использованы в наших опытах. В разные по метеорологическим условиям годы выход продукции возрастал на 20–27 и даже 38–50 %.

Способы применения весьма просты – в рядок при посеве, под корень всходов. Бактериальные удобрения наиболее эффективны в благоприятные по гидротермическим условиям годы. Например, в неблагоприятные годы вес стандартного корнеплода составлял 50–70 г, возрастая с улучшением погоды до 130–164 г. Содержание нитратов в продукции было всегда ниже ПДК. Таким образом, на старопашотных торфяниках – эутрофных торфоземах – минеральные удобрения можно рассматривать как фактор улучшения биологических свойств.

2.4. Трансформация естественного травостоя Яхромской поймы и пути повышения его продуктивности

Оценка жизни и состояния естественного травостоя в условиях пойм представляется весьма важными особенностями. Такая возможность нам представилась в ряде мест притеррасной части Яхромской поймы на территории стационаров «Ближний» (квартал V) и «Дальний» (квартал VIII) землепользования ФГУП «Первомайский», так как лишь в этой части

Яхромской поймы сохранились природные многолетние травы, не подвергавшиеся агрономическому воздействию примерно с 70-х годов прошлого века. Изучали ботанический состав травостоя, его урожайность и засоренность.

История использования участков притеррасной части поймы. После проведения мелиоративных мероприятий притеррасная часть поймы и прилегающие к ней участки со стороны центральной поймы не распахивались из-за повышенной влажности торфяных почв, и поэтому здесь сформировался естественный луговой травостой. До 2004 г. эти участки использовались в качестве пастбища для поголовья КРС бывшего ОПХ ЦТБОС (ныне ФГУП «Первомайский») как на стационаре «Ближний», так и на стационаре «Дальний». В 2004 г. поголовье КРС ОПХ ЦТБОС было ликвидировано. В последние пять лет территория пахотных угодий стала постепенно расширяться за счет участков, прилегающих к притеррасной части поймы. Поэтому площадь естественных травостоев стала сокращаться.

Обследованные участки притеррасной части поймы, занятой многолетними травами, характеризовались неровностью поверхности и, как следствие, разными условиями увлажнения мезо- и микроэлементов рельефа и поэтому неоднородностью ботанического состава травостоя. К притеррасной части поймы прилегают края полей центральной поймы, занятых овощными культурами. На территорию притеррасной части поймы при планировке пашни сдвигают лишнюю почву, частично попадают пни при уборке их с полей, кроме того, здесь разворачивается техника. Максимальная неоднородность поверхности отмечена для притеррасных участков VIII квартала, что, по-видимому, связано и с тем, что соседний VII квартал в начале 90-х годов прошлого века горел в течение нескольких лет, пока не выгорел практически полностью. Невыровненность поверхности квартала VIII дополнительно связана с проведением противопожарных мероприятий (углублением нагорного канала и мелиоративных канав, проведением выравнивания выемок торфа во время чисток).

Для изучения ботанического состава травостоя и учета урожайности многолетних трав на указанных кварталах закладывались стационарные площадки. Для этого выбирались более ровные участки с наиболее распространенным составом

травостоя. Зеленую массу на стационарных площадках убирали за два укоса – в конце июня и августа в фазе колошения основных злаковых трав. Скашивали травы на высоте 4–5 см, площадками 50 см x 50 см (0,25 м²). Образец с указанной площади разбирали по отдельным видам растений, затем взвешивали каждый вид трав. По каждому компоненту травостоя определяли: влажность, содержание сухого вещества, урожайность, долю отдельного вида в составе травостоя.

Изучение ботанического состава травостоя на VIII квартале показало, что из многолетних трав здесь широко представлены луговые растения: райграс высокий, канареечник тростниковый, лисохвост луговой, овсяница луговая, мятлик луговой. В составе травостоя луговые компоненты занимали в среднем 94,5 % (табл. 2.4, 2.5).

Таблица 2.4

Ботанический состав и урожайность естественного травостоя стационарных площадок (VIII квартал)

Виды трав	Соотношение* растений в травостое, %	Урожай, ц/га			
		Зеленой массы		Сено, 16% влажн.	
		1 укос	2 укос	1 укос	2 укос
Райграс высокий	48,8	127,0	40,0	28,8	9,2
Канареечник тростниковый	20,5				
Лисохвост луговой	17,3				
Овсяница луговая	7,9				
Чистец болотный	2,4				
Мышиный горошек	1,6				
Тысячелистник	0,6				
Подмаренник цепкий	0,9				
Будра плющевидная					
Полынь обыкновенная					

* – средневзвешенная весовая доля отдельного вида трав с четырех площадок.

Из двудольных растений чаще всего встречался чистец болотный, тысячелистник, подмаренник цепкий и будра плющевидная; из бобовых – только мышиный горошек, но в очень небольших количествах. Ближе к дороге были отмечены заросли

купыря бутенелистного высотой более 1,5 м, встречался лопух большой и крапива двудомная.

Необходимо отметить, что притеррасная часть поймы в настоящее время не окашивается и поэтому стала постепенно зарастать ивняком.

Урожай зеленой массы многолетних трав за два укоса составил на стационарных площадках в среднем 167,0 ц/га, сена – 38,0 ц/га. Важно то, что урожай второго укоса был почти в 3 раза ниже, чем первого, и соответственно составил 28,8,0 и 9,2 ц/га, что, по-видимому, связано с нехваткой элементов питания во второй половине вегетации из-за их вымывания из профиля почвы во время прохладного и сырого лета 2012 года. Тем не менее для участков, где необходимо проведение культуртехнических работ, – это неплохой урожай.

Таблица 2.5

Ботанический состав естественного травостоя притеррасной части поймы за пределами стационарных площадок (VIII квартал)

№ п/п	Вокруг площадок	Мезоповышение	Ближе к дороге
1	Канареечник тростниковый	Пырей ползучий	Канареечник тростниковый
2	Чистец болотный	Ежа сборная	Купырь бутенелистный
3	Мятлик луговой	Овсяница луговая	райграс высокий
4	Овсяница луговая	Мятлик луговой	Лопух большой
5	Щучка дернистая	Редька дикая	Чистец болотный
6	Крапива двудомная	Смолевка-хлопушка	Тысячелистник
7	Подмаренник цепкий	Крапива двудомная	Польнь обыкновенная
8	Горошек мышиный	Подмаренник цепкий	Крапива двудомная
9	Редька дикая	Лебеда	Ежа сборная
10	-	Пикульник	Мятлик луговой
11	-	Марь белая	Овсяница луговая

Для притеррасной части V квартала была характерна лучшая выровненность поверхности, поэтому именно на нем заложены не только 4 стационарные площадки для изучения ботанического состава травостоя, но и отдельная площадка для проведения микрополевого опыта по эффективности минеральных удобрений на многолетних травах.

Несмотря на лучшую выровненность территории V квартала притеррасная часть поймы также требует проведения культуртехнических работ, указанных для квартала VIII. Но самое неприятное для этих территорий то, что они служат мусорной свалкой для нерадивых предпринимателей и жителей окрестных деревень.

Проведенные исследования показали, что ботанический состав травостоя притеррасной части V квартала (стационар «Ближний») очень сильно отличался от такового на VIII квартале (стационар «Дальний»). Преимущественные позиции в травостое здесь занял пырей ползучий (67,3–79,2 %), за ним осот розовый (12,0–21,6 %). Луговые компоненты (тимофеевка, лисохвост, мятлик и овсяница) составляли не более 1,3–9,7 %. Среди них больше всего было тимофеевки (1,4–9,7 %), далее следовал лисохвост луговой (3,2 %) (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Ботанический состав травостоя притеррасной части V квартала (стационарные площадки)

Виды трав и их соотношение в травостое, %							
Площадка 1		Площадка 2		Площадка 3		Площадка 4	
Пырей ползучий	69,7	Пырей ползучий	79,2	Пырей ползучий	79,2	Пырей ползучий	67,3
Осот розовый	21,3	Осот розовый	12,0	Осот розовый	16,7	Осот розовый	21,6
Тимофеевка луговая	3,8	Тимофеевка луговая	8,4	Тимофеевка луговая	1,4	Тимофеевка луговая	9,7
Лисохвост луговой	3,2	Овсяница луговая	0,2	Мятлик луговой	1,4	Овсяница луговая	1,3
Смолевка-хлопушка	0,8	Мышиный горошек		Ярутка полевая	1,4	Марь белая	0,3
Горец развесистый	0,4	-		Марь белая	-	-	-
Осот желтый	0,4	-		-	-	-	-
Марь белая	0,4	-		-	-	-	-
Крапива двуд.		-		-	-	-	-
Пастушья сумка		-		-	-	-	-
Одуванчик		-		-	-	-	-

Другими словами, сорная растительность вытеснила естественный травостой. Несмотря на то что пырей ползучий характеризуется как злостный сорняк, он является при этом качественным кормом для животных и хорошо ими поедается. Грубостебельные сорняки (осоты, тысячелистник, полынь и др.) снижают качество кормов.

Опасность распространения сорной растительности на лугах притеррасной части поймы заключается в том, что она способствует увеличению засоренности пашни благодаря интенсивному обсеменению и распространению семян ветром и этот факт усугубляется тем, что эти участки не окашиваются. В этом отношении опасен и пырей, так как он может наступать на поля не только за счет продвижения своих корневищ, но и распространения семян ветром.

Рост засоренности пашни на торфяных почвах Яхромской поймы опасен потому, что здесь преимущественно выращиваются пропашные культуры (овощи и картофель), не способные в силу своих биологических особенностей и технологий возделывания самостоятельно противостоять сорнякам. Этот момент очень важно учитывать, так как воздействие химических средств защиты растений на торфяные агроэкосистемы при выращивании овощных культур в настоящее время и так проявляется максимально.

С чем же связано такое разительное отличие ботанического состава травостоя притеррасной части поймы на двух стационарах? Дело в том, что отличие стационаров «Ближний» и «Дальний» заключается в давности освоения этих участков: стационар «Ближний» был освоен почти 100 лет назад, «Дальний» – 50 лет назад. Разница в 50 лет сельскохозяйственного использования привела к почти полному вытеснению естественной луговой растительности в притеррасной части поймы сорняками (табл. 2.7).

Урожай естественного травостоя в притеррасной части V квартала был гораздо выше, чем на VIII квартале, и составил на площадках от 144,0 до 185,1 ц/га в первом укосе и от 100,2 до 106,0 ц/га – во втором. Суммарный урожай сена за два укоса на стационаре «Ближний» составил значительные величины: 50,5–60,4 ц/га – в среднем 52,8, что почти на 15 ц/га выше, чем на стационаре «Дальний» (табл. 2.8).

Таблица 2.7

Соотношение лугового и сорного компонентов естественных травостоев стационаров «Ближний» и «Дальний» и их урожайность

Доля лугового и сорного компонентов естественных травостоев, % (ср. величины)			
Стационар «Дальний» – 50 лет освоения		Стационар «Ближний» – 100 лет освоения	
Луговые травы	Сорняки	Луговые тра- вы	Сорняки
Райграс высо- кий, 48,8	Чистец болот- ный, 2,4	Тимофеевка луговая, 5,8	Пырей ползу- чий, 73,6
Канареечник тростниковый, 20,5	Тысячелистник, 1,6	Лисохвост луговой, 0,9	Осот розовый, 18,0
Лисохвост лу- говой, 17,3	Подмаренник цепкий, 0,9	Мятлик луговой, 0,3	Ярутка поле- вая, 0,4
Овсяница лу- говая, мятлик луговой, 6,3	будра плюще- видная, 0,3	Овсяница луговая, 0,4	Марь белая, Смолевка- хлопушка, осот желтый, полынь обык- новенная, 0,7
Мышиный го- рошек, 1,6	Полынь обыкно- вен., 0,3	-	
Всего: 94,5	Всего: 5,5	Всего: 7,4	Всего: 92,6
Урожай сена - 38,0		Урожай сена – 52,8	

Таблица 2.8

Урожайность естественного травостоя на стационарных площадках

Урожай ц/га							
Площадка 1		Площадка 2		Площадка 3		Площадка 4	
Зеле- ная масса	Се- но, 16% влажн.	Зеле- ная масса	Сено, 16 % влажн.	Зеле- ная масса	Сено, 16 % влажн.	Зеле- ная масса	Сено, 16 % влажн.
1 укос							
185,1	39,1	166,4	35,2	144,0	30,4	164,4	35,2
2 укос							
106,0	21,3	102,1	20,5	100,2	20,1	103,4	20,7
За два укоса							
291,1	60,4	268,5	55,7	244,2	50,5	267,8	55,9

Более высокий урожай многолетних трав на участках со 100-летним сроком освоения, по-видимому, тоже связан с 50-летней

разницей в освоении и сельскохозяйственном использовании торфяных почв в качестве пашни. Ежегодное внесение на поля центральной части поймы удобрений приводило к частичному их вымыванию из профиля почвы, переносу дренажными водами и выклиниванию обогащенных питательными веществами напорных вод в притеррасной части поймы.

Для изучения возможности повышения производительности естественных лугов на стационарных площадках был заложен микрополевой опыт по эффективности минеральных удобрений под травы. Использовались невысокие нормы удобрений, так как притеррасная часть поймы требует культуртехнических работ.

Прибавки урожая сена от внесения удобрений составили 12,2–16,9 ц/га в первом укосе и 4,2–8,9 ц/га – во втором. Прибавки существенны, но достоверны только для варианта с внесением максимальной дозы азота. По нашему мнению, такая вариабельность прежде всего связана с неоднородностью травостоя на этих участках притеррасной части поймы. Тем не менее прибавки от внесения невысоких доз удобрений составили за два укоса значительные величины – от 16,4 до 25,8 ц/га, что соответствовало 31,0–48,9 % по сравнению с неудобренным фоном (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Влияние удобрений на продуктивность естественных лугов

Внесено	Урожай сена 16%-ной влажности, прибавки к контролю, ц/га					
	1 укос		2 укос		За 2 укоса	
0	30,4	-	22,4	-	52,8	-
P ₃₀ K ₆₀ N ₃₀₊₃₀	45,8	15,4	30,9	8,5	76,7	23,9
P ₃₀ K ₆₀ N ₄₅₊₄₅	42,6	12,2	26,6	4,2	69,2	16,4
P ₃₀ K ₆₀ N ₆₀₊₆₀	47,3	16,9	31,3	8,9	78,6	25,8
НСП ₀₅		17,0		8,1		25,1

Таким образом, исследование ботанического состава естественных травостоев притеррасной части Яхромской поймы показало, что многолетние травы участков, освоенных 50 лет назад, имеют в своем составе высокое содержание разнообразных луговых растений (94,5 %). В притеррасной части стационара, осво-

енного около 100 лет назад, доля луговых компонентов сократилась до 7,4 %. Луговой травостой был вытеснен сорной растительностью, основную массу которых заняли пырей ползучий (67,3–79,2 %) и осот розовый (12,0–21,6 %). В целом засоренность достигла огромных величин (92,6 %).

Полученные данные говорят о том, что с увеличением давности освоения Яхромской поймы в ее притеррасной части повышается вытеснение луговых компонентов сорной растительностью. Увеличение засоренности притеррасной части поймы может стать причиной роста уровня засоренности пахотных угодий и увеличения агрохимической нагрузки на выращиваемые овощные культуры в частности и на торфяные агроэкосистемы в целом.

Для улучшения компонентного состава многолетних трав и снижения засоренности сельскохозяйственных угодий Яхромской поймы естественный травостой притеррасной части должен ежегодно скашиваться до фазы цветения основных видов трав.

Скошенный и высушенный травостой может вноситься осенью на поля после уборки овощных культур до зяблевой вспашки. Такой прием улучшит биологическое состояние торфяных почв, повысит их уровень плодородия и благоприятно скажется на урожайности овощных культур.

При необходимости урожайность естественного травостоя можно повысить на 30–50 % поверхностным внесением невысоких доз минеральных удобрений от $N_{30+30} P_{30}K_{60}$ до $N_{60+60} P_{30}K_{60}$. Перед этим желательно провести культуртехнические работы.

Литература

1. Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. – Киев: Наукова думка, 1972.
2. Подольский И.Г. Исследование и разработка метода и оборудования для регулирования водно-воздушного режима капиллярно-пористых тел (корнеобитаемых сред) в оранжерейных устройствах для условий микрогравитации // Научная библиотека диссертаций и авторефератов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dissercat.com/content/issledovanie-i-razabotkametoda-i-oborudovaniya-dlya-regulirovaniya-vodno-vozduhnogo-rezhi#ixzz2y1vMvCZf>
3. Емцев В.Т., Ницэ Л.К., Покровский Н.П. Несимбиотическая азотфиксация и закономерности ее функционирования в почве // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. – М.: Наука, 1985. С. 213–221.

4. Справочная книга по производству и применению органических удобрений / сост. А.И. Еськов, М.Н. Новиков [и др.]. – Владимир, 2001. – 495 с.
5. Жуков А.И. Воспроизводство гумуса в интенсивном земледелии // *Агрохимия*. – 1991. – № 3. – С. 121–133.
6. Изменение биологической активности торфяных почв под воздействием мелиорации / под ред. Н.И. Пьявченко. – М.: Наука, 1982.
7. Карягина Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – Минск: Наука и техника, 1983. – 181 с.
8. Лыков А.М. Воспроизводство органического вещества почвы в современных системах земледелия // *Земледелие*. – 1988. – № 9. – С. 20–22.
9. Микробиологические аспекты плодородия черноземов Поволжья / Ю.М. Возняковская [и др.] // *Почвоведение*. – 1990. – № 7. – С. 67–74.
10. Отчет о научно-исследовательской работе ЦТБОС за 1973 год: Разработка экологических аспектов сельскохозяйственного использования торфяников и торфяных болот. – Т. 2. – Дмитров, 1973. – 387 с.
11. Пфайффер Э.Э. Плодородие земли, его сохранение и возобновление. – М.: Аккоринформиздат, 1995. – 320 с.
12. Пьявченко Н.И. Научные основы комплексного исследования болот // *Научные труды ЦТБОС*. – М., 1973. – Вып. 2. – С. 26–32.
13. Торф, торфяные почвы, удобрения / Н.Г. Ковалев [и др.]. – М.: Изд-во ВНИИМЗ, 1998. – 239 с.
14. Фокин А.Д. Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органических веществ, железа и фосфора в дерново-подзолистой почве: автореф. дис. ... канд с/х наук. – М.: МГУ, 1975.

Глава 3. ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ МАЛОПРОДУКТИВНЫХ ПОЧВ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СТРУКТУРНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

3.1. Основы оптимизации малопродуктивных почв

Проблема повышения продуктивности занимает одно из первых мест среди глобальных проблем человечества, существование малопродуктивных земель требует эффективных мер по повышению их плодородия.

На территории России основными среди причин низкой продуктивности сельскохозяйственных земель являются водная эрозия, низкое содержание гумуса, утрата структуры (пашня), дефляция (сенокосы и пастбища) [11]. Такие почвы характеризуются: низким содержанием гумуса и как следствие утратой структуры, легким гранулометрическим составом, малой емкостью катионного обмена, невысокой степенью насыщенности основаниями, кислой или щелочной реакцией почвенного раствора, неблагоприятным химическим составом, слабой микробиологической активностью, низкой кислотно-щелочной буферностью. Значительный процент таких малопродуктивных почв – супесчаные дерново-подзолистые и торфяные.

Дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава юго-западной Нечерноземной зоны России характеризуются низким естественным плодородием [6]. Применение различных систем удобрения на таких почвах совместно с известкованием значительно повышает их плодородие и продуктивность культур севооборотов [5, 13, 16].

Дефицит элементов питания в почве приводит к усиленной минерализации органического вещества почвы, снижению экологической устойчивости агроландшафтов и увеличению интенсивности деградационных процессов. Традиционные агротехнические приемы, направленные на повышение содержания гумуса в почвах, основаны на внесении значительных доз органических удобрений в виде навоза [12, 19]. Использование органического вещества – торфа – более экологично, но менее эффективно, так как требуется больше времени на его минерализацию.

В центральном районе Нечерноземной зоны России среди пахотных земель на дерново-подзолистые почвы приходится около 63 %. Для большинства из них характерно пониженное количество гумуса и его четко выраженный фульватный или гуматно-фульватный характер, небольшой по мощности перегнойный горизонт, повышенная кислотность. Свыше 50 % почв имеют менее 10 мг на 100 г почвы подвижных форм фосфора и калия, что не позволяет иметь успех от внедрения прогрессивных технологий возделываемых культур. Для подавляющей части почв свойственно плохо выраженная структура и в целом не совсем благоприятные водно-физические свойства. Следствием этого является низкий уровень плодородия дерново-подзолистых почв региона и невысокая урожайность сельскохозяйственных культур. Одним из эффективных способов окультуривания этих почв считаются органические удобрения, оказывающие комплексное влияние на их плодородие [3].

Наиболее сильное положительное влияние на плодородие дерново-подзолистых песчаных почв оказывают органические удобрения, причем их эффективность возрастает при совместном внесении с минеральными удобрениями и известкованием [13]. Органические удобрения поддерживают содержание углерода и азота на исходном уровне или повышают его, особенно при высоких нормах внесения [18]. Внесение торфа в легкие песчаные и супесчаные почвы является важным агротехническим мероприятием для поднятия урожайности сельскохозяйственных культур.

Для восстановления малопродуктивных почв широко применяется биологический метод, основанный на способности микроорганизмов утилизировать загрязняющие вещества. Перспективным является использование специфических популяций микроорганизмов и грибов [22]. Микроорганизмы, входящие в состав препарата, способствуют накоплению в почве элементов питания растений, стимулируют их рост и развитие, обладают антагонистической активностью по отношению к фитопатогенам [14].

Торфяно-болотные почвы обладают большим запасом органического вещества и являются потенциально плодородными. Продуктивное использование торфяных почв в сельскохозяйственном производстве возможно только при проведении осушительных мелиораций [15]. В последние годы мелиоративное со-

стояние земель из-за отсутствия ремонта и надлежащего ухода за осушительной сетью постоянно ухудшается: в неудовлетворительном состоянии находится более 25 % ранее осушенных земель. Сельскохозяйственное использование торфяных почв связано с рядом трудностей: ветровой эрозией, частыми весенними и осенними заморозками, обильным развитием сорняков, сильным полеганием посевов, низкой проходимостью обрабатывающей техники. Значительный ущерб наносят пожары на торфяниках. Все это отрицательно сказывается на продуктивности возделываемых культур и заметно снижает эффективность использования торфяных почв [4]. После осушения торфяно-болотных почв, ежегодное внесение фосфорно-калийных удобрений, применение агромелиоративных мероприятий и регулирование водного режима, является гарантом получения высоких урожаев [2, 10].

Рекультивация торфяников при их использовании в сельскохозяйственных целях направлена на активизацию микробиологических процессов и регулирования скорости минерализации органического вещества. Для этого применяют структурные мелиорации, совершенную агротехнику и сбалансированное органическое и минеральное питание [8]. Использование добавок минерального грунта (песка, глины) в качестве средства, повышающего плодородие болотных почв, известно давно. Многолетние исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, установили, что путем применения сравнительно небольших количеств минеральных добавок в виде песка или глины в значительной мере можно исправить некоторые отрицательные свойства торфяно-болотных почв. Экспериментально доказано, что применение минеральных добавок улучшает агрофизические свойства почв, водный и температурный режим всего профиля осушенных торфяных почв, но и вызывают существенную активизацию биологической активности всех горизонтов профиля [4].

Хороший эффект дает совместное пескование и внесение фосфорно-калийных, а иногда и азотных удобрений. Многочисленные исследования показали, что плотность сложения торфяников увеличивается после внесения минеральных веществ и механических обработок и что эти факторы приводят к увеличению зольности торфяника, который постепенно теряет первоначальные свойства и превращается в высокогумифицированную почву.

В системе мероприятий по повышению плодородия выработанных торфяников одним из решающих факторов получения высоких урожаев является создание оптимального водного и пищевого режимов. Следующим важным фактором повышения плодородия являются систематическое применение минеральных удобрений, которые способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Полезно внесение навозного удобрения с целью активизации микробиологической жизни. Нередко возникает необходимость внесения бактериальных удобрений и микроэлементов.

Таким образом, проблема восстановления продуктивности деградированных почв требует пристального внимания и первоочередного решения.

3.2. Методологические основы восстановления малопродуктивных почв

С целью разработки агротехнических и агроландшафтных приемов окультуривания малопродуктивных дерново-подзолистых супесчаных почв и мелкозалежных низинных торфяников в условиях Мещерской низменности исследования проводили на территории Рязанской области, расположенной в центральной полосе европейской части России в ее юго-восточной части. Основная ее территория находится в пределах бассейна р. Оки [7]. Пятую часть общего земельного фонда Рязанской области (0,82 млн га) занимает Рязанская Мещера, которая характеризуется высоким потенциалом развития сельскохозяйственного производства. Зональными почвами в местах проведения исследований являются дерново-подзолистые, которые занимают около 70 % площади. Они характеризуются легким гранулометрическим составом, незначительным содержанием органического вещества и низким плодородием. Наряду с дерново-подзолистыми здесь встречаются болотно-подзолистые и типично подзолистые почвы, господствующие под лесами. Торфяно-болотные почвы занимают около 20 % территории, из них наиболее ценны низинные торфяники [1].

Объектом исследований стал экополигон «Мещера» площадью 3677 га. На территории агроландшафта располагается лес (2700 га), осушаемые земли (500 га), пастбище, неорошаемая

пашня, заброшенные орошаемые земли (111 га), дачные участки (рис. 3.1). Исследования проводили на малопродуктивных легких по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почвах и почвах маломощных низинных торфяников (рис. 3.2).



Рис. 3.1. Схема экополигона «Мещера»

Дерново-подзолистые почвы экополигона (опыт 1) характеризуются высокой плотностью сложения ($1,54\text{--}1,61\text{ г/см}^3$). С глубиной почвенного профиля плотность сложения остается стабильной, на уровне $1,54\text{--}1,58\text{ г/см}^3$. Плотность твердой фазы изменяется в узких пределах $2,68\text{--}2,73\text{ г/см}^3$. Почвы обладают низкой пористостью. В верхнем пахотном слое $0\text{--}20\text{ см}$ она составляет $40,6\text{--}40,4\%$, а с глубиной почвенного слоя незначительно увеличивается до $41,3\text{--}43,6\%$.

Пористость аэрации наибольших значений $21,3\text{--}23,6\%$ достигает в иллювиальном песчаном горизонте ($21\text{--}48\text{ см}$). В других слоях супесчаной почвы до $1,0\text{ м}$ она составляет $14,3\text{--}15,5\%$ и является удовлетворительной по своим значениям. Полная

влажность в метровом слое почвы изменяется в незначительных пределах – 23,5–24,5 % от массы.

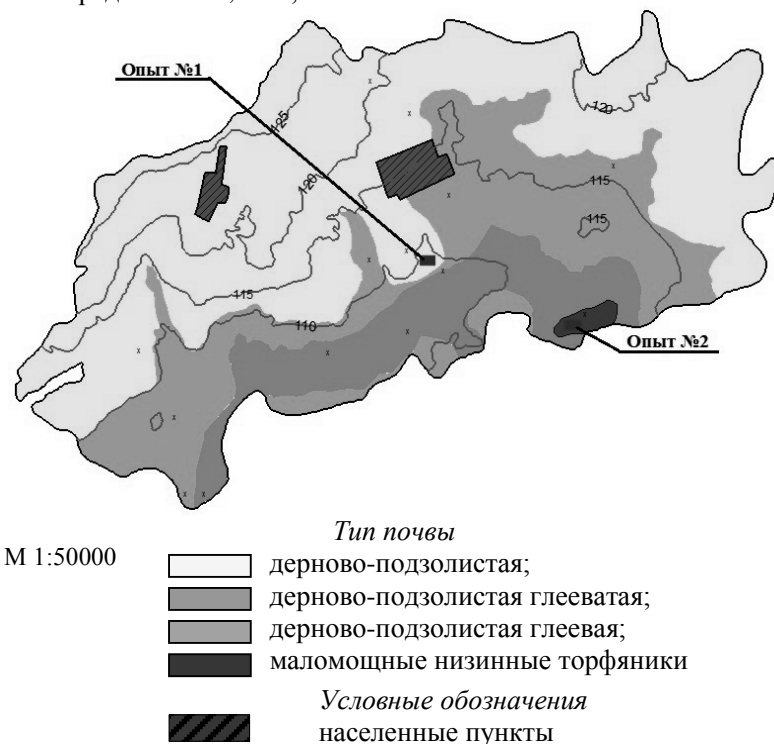


Рис. 3.2. Почвенная карта экополигона «Мещера» (карта составлена в Мещерском филиале ВНИИГиМ)

Во втором опыте, где почвой является мелкозалежный торфяник, плотность сложения изменялась от 0,28 до 0,36 г/см³. Наиболее высокая плотность сложения отмечалась в верхнем слое почвы 0–30 см. В среднем плотность сложения составляла 0,32 г/см³. Плотность твердой фазы в торфяно-болотной почве изменялась в пределах 1,70–1,75 г/см³ и в среднем составляла 1,73 г/см³. Пористость торфяно-болотной почвы довольно высокая и изменялась в пределах от 78,8 до 84,0 %. При этом отмечается тенденция ее увеличения с глубиной почвенного профиля. В то же время пористость аэрации для данной почвы варьирует от 27,1 до 46,3 % от объема. Торфяно-болотные почвы обладают

высокой влагоемкостью. В среднем полная влагоемкость составляет 250 % от массы и изменяется от 208 до 289 %, увеличиваясь с глубиной. Аналогичные изменения отмечены и по наименьшей влагоемкости торфяно-болотной почвы. Она варьирует от 107 до 161 % и в среднем составляет 128 % от массы. Общее содержание гумуса и питательных веществ в почве характеризует ее плодородие. Дерново-подзолистая почва характеризуется невысоким содержанием гумуса, низкой обеспеченностью азотом, подвижным фосфором и обменным калием. Почвенный покров мелкозалежных торфяников (опыт 2) представлен торфяно-болотными почвами, которые отличаются низкой обеспеченностью подвижным фосфором и обменным калием. Их содержание в среднем в почвенном слое 0–40 см соответственно составляет 96 и 137 мг/кг.

Таким образом, дерново-подзолистая почва характеризуется неблагоприятными агрофизическими и агрохимическими свойствами. Эти почвы нуждаются как в улучшении водно-физических свойств, так и в повышении почвенного плодородия. Для их эффективного использования необходимо внесение органических и минеральных удобрений с соблюдением высокого агротехнического фона, а также микробиологических препаратов. Торфяно-болотные почвы (опыт 2) также нуждаются в улучшении агрофизических и агрохимических свойств. Улучшение агрофизического состояния почв возможно путем внесения минерального грунта, а для повышения их плодородия – азотных, фосфорных и калийных удобрений.

На дерново-подзолистой супесчаной почве был заложен полевой опыт, где исследования велись в течение трех лет (2011–2013 гг.). В опыте изучалось 10 вариантов, которые изменялись различиями в соотношении доз внесения торфа и наличием био-препарата. Повторность опыта – четырехкратная, площадь каждой опытной делянки (повторности) составляет 30 м², а учетной – 20 м². Схема опыта приведена в таблице 3.1.

Для эксперимента использовали перепревший навоз крупного рогатого скота (КРС). В вариантах 3–10 применялся подсушенный низинный торф с экополигона «Мещера». Микробиологический препарат «Байкал ЭМ-1» (биопрепарат) в опыте использовался для активизации микробиологических процессов в почве. ЭМ – «Эффективные микроорганизмы» или культура. В состав препарата входят:

- бактерии: грамположительные (молочнокислые); актиномицеты; граммотрицательные (азотфиксирующие);
- сине-зеленые водоросли;
- почвенные грибы: одноклеточные формы высших грибов с септированными гифами – дрожжи; ферментирующие грибы.

Таблица 3.1

Схема полевого опыта, заложенного на дерново-подзолистой почве

№ вар.	Описание вариантов опыта	Сокращение в таблицах
1	Дерново-подзолистая супесчаная почва – контроль	Контроль
2	Внесение минеральных удобрений $N_{30}P_{30}K_{60}$ – фон	Фон ($N_{30}P_{30}K_{60}$)
3	Фон + навоз 25 т/га + торф 25т/га	Фон +Н25+Т25
4	Фон + навоз 25 т/га + торф 25т/га + биопрепарат «Байкал ЭМ-1»	Фон+Н25+Т25+ ЭМ
5	Фон + навоз 25 т/га + торф 50т/га	Фон +Н25 +Т50
6	Фон + навоз 25 т/га + торф 50т/га + биопрепарат «Байкал ЭМ-1»	Фон +Н25 +Т50+ ЭМ
7	Фон + навоз 25 т/га + торф 75т/га	Фон +Н25 +Т75
8	Фон + навоз 25 т/га + торф 75т/га + биопрепарат «Байкал ЭМ-1»	Фон +Н25 +Т75+ ЭМ
9	Фон + навоз 25 т/га + торф 100т/га	Фон +Н25 +Т100
10	Фон + навоз 25 т/га + торф 100т/га + биопрепарат «Байкал ЭМ-1»	Фон +Н25 +Т100+ ЭМ

«Байкал ЭМ-1» – это созданный по специальной технологии концентрат в виде жидкости, содержащий комплекс анабиотических (полезных) микроорганизмов, обитающих в почве, и продуктов их жизнедеятельности. В комплекс входят *Lactobacillus casei* 21; *Streptococcus lactis* 47; *Phodopseudomonaspalistris* 108; *Caccaromycescerevisiae* 76 [21]. Норма расхода препарата ЭМ-1 – 2 л/га. Навоз являет собой исключительную питательную среду для размножения ЭМ. Важно, что при обработке ЭМ уничтожаются все содержащиеся в навозе патогенные микроорганизмы.

В опыте изучалось влияние органических удобрений в сочетании с минеральными удобрениями на свойства и плодородие супесчаной дерново-подзолистой почвы при возделывании горохо-овсяной смеси на зеленую массу. В течение периода исследований велись биометрические и фенологические наблюдения за

растениями, исследовали биологическую активность почв по степени разложения льняной ткани. В конце вегетации каждого года исследований определялись водно-физические, агрохимические и физико-химические свойства почв. Химический анализ почвы и оценку кормовой ценности продукции определяли по стандартным методикам.

Содержание микроэлементов в пробах (медь, цинк, марганец) определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии. В качестве тестовой культуры на дерново-подзолистой почве выбрана горохо-овсяная смесь. Учет массы ее корневой системы в почвенной толще определяли количественно-весовым методом [20].

Второй полевой опыт был заложен на торфяно-болотной почве мелкозалежного торфяника мелиоративной системы «Гинки-II». Схема опыта приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Схема полевого опыта на торфяно-болотной почве

Номер варианта	Описание вариантов опыта	Сокращение в таблицах
1	Торфяно-болотная почва – контроль	Контроль
2	Внесение минеральных удобрений $N_{45}P_{60}K_{90}$ – фон	Фон ($N_{45}P_{60}K_{90}$)
3	Фон + глина 400 т/га	Фон + Г 400
4	Фон + глина 600 т/га	Фон + Г 600
5	Фон + глина 800 т/га	Фон + Г 800
6	Фон + песок 400 т/га	Фон + П 400
7	Фон + песок 600 т/га	Фон + П 600
8	Фон + песок 800 т/га	Фон + П 800

В опыте изучали влияние различных доз минеральных добавок из песка и глины при перемешивании с верхним слоем торфяной почвы. Песок использовали флювиогляциальный, карьерный, рыхлый, мелкозернистый. Глина покровная. Глину и песок в вариантах опыта смешивали тяжелой дисковой бороной БДТ-2,5 с верхним пахотным слоем – смешанный прием внесения минеральных добавок в почву.

Опыт заложен в четырехкратной повторности. Площадь каждой делянки (повторности) составляет 30 м², учетной – 20 м². Исследуемая культура – овес сорта «Горизонт» на зерно. Опыты проводили по методике опытного дела Б.А. Доспехова (1985). Фенологические наблюдения, густоту стояния и биометрические

показатели учитывали согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (1971, 1985). Определение площади листьев, фотосинтетический потенциал определяли по методике, описанной А.А. Ничипоровичем (1959–1961); для расчета чистой продуктивности фотосинтеза использовали формулу, предложенную Киддом, Вестом и Бригсом [9, 17].

Качество горохо-овсяной смеси на зоотехнические показатели (содержание сырой клетчатки, сырого жира, сырого протеина, сырой золы, фосфора, кальция) определяли по соответствующим ГОСТ. Агрофизические (плотность сложения, пористость, наименьшая влагоемкость, структурно-агрегатный состав, влажность и максимальная гигроскопичность) и агрохимические (гумус, гидrolитическую кислотность, содержание подвижных форм фосфора и калия, содержание общего и аммонийного азота, сумма поглощенных оснований, зольность) свойства почвы определяли по стандартным методикам, ее микробиологическую активность – методом аппликаций по интенсивности разложения льняной ткани.

3.3. Улучшение малопродуктивных супесчаных дерново-подзолистых почв при внесении органических, минеральных удобрений и микробиологического препарата

Одной из важных физических характеристик состояния дерново-подзолистых почв является гранулометрический состав и особенности их микроструктуры.

Внесение органических и минеральных удобрений в сочетании с биопрепаратом не оказывает существенного влияния на гранулометрический состав почвы. При внесении в почву навоза и торфа отмечалась тенденция увеличения фракций мелкой пыли и илистых частиц. При внесении навоза (25 т/га) и торфа (75 т/га) содержание мелкой пыли увеличилось с 4,4 до 5,2 %, а ила – с 1,8 до 4,0 % за счет незначительного снижения содержания песчаных частиц и крупной пыли. Увеличение дозы торфа до 100 т/га приводило к повышению содержания частиц мелкой пыли и илистых фракций от 6,9 до 8,9 % вследствие некоторого снижения более крупных фракций. Результаты исследований микроагрегатного состава почвы показали, что все глинистые частицы, полученные в результате агрегации гумусо-органическим материалом, формировали более крупные макро- и микроагрегаты.

Физические свойства оказывают большое влияние на процессы почвообразования, плодородия почвы и развитие растений. Одними из важнейших показателей физических свойств почвы являются плотность сложения и пористость, от которых зависят водно-воздушный и тепловой режимы почвы, а также ее микробиологическая активность. Результаты исследований свидетельствуют о положительном влиянии органических удобрений и биологической добавки на разуплотнение почвы и снижение значений ее плотности (табл. 3.3 и 3.4). Максимальное снижение плотности дерново-подзолистой почвы произошло под влиянием внесения 75–100 т/га торфа и 25 т/га навоза. Этот показатель снизился до 1,42 – 1,44 г/см³, а в слое 20–40 см он был немного выше. Вследствие снижения плотности в почвенном профиле значительно увеличилась пористость.

Таблица 3.3

Влияние органо-минеральных удобрений на плотность сложения дерново-подзолистой супесчаной почвы, г/см³

№ вар.	Варианты опыта	Слой почвы, см	2011	2012	2013	Среднее
1	Контроль	0-20	1,63	1,64	1,64	1,64
		20-40	1,65	1,65	1,66	1,65
2	Фон (N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀)	0-20	1,63	1,63	1,64	1,63
		20-40	1,65	1,65	1,66	1,65
3	Фон +N25 +T25	0-20	1,54	1,56	1,58	1,56
		20-40	1,63	1,64	1,65	1,64
4	Фон +N25 +T25+ ЭМ	0-20	1,54	1,55	1,56	1,55
		20-40	1,62	1,64	1,64	1,63
5	Фон +N25 +T50	0-20	1,51	1,52	1,54	1,52
		20-40	1,61	1,62	1,64	1,62
6	Фон +N25 +T50+ ЭМ	0-20	1,48	1,49	1,52	1,50
		20-40	1,60	1,61	1,63	1,61
7	Фон +N25 +T75	0-20	1,43	1,45	1,48	1,45
		20-40	1,58	1,59	1,60	1,59
8	Фон +N25 +T75+ ЭМ	0-20	1,41	1,44	1,47	1,44
		20-40	1,55	1,56	1,58	1,56
9	Фон +N25 +T100	0-20	1,40	1,42	1,45	1,42
		20-40	1,52	1,54	1,56	1,54
10	Фон +N25 +T100+ ЭМ	0-20	1,39	1,41	1,45	1,42
		20-40	1,51	1,54	1,56	1,54
НСП ₀₅		0-20	0,06	0,05	0,03	0,05

Таблица 3.4

Влияние органо-минеральных удобрений на изменение пористости дерново-подзолистой супесчаной почвы, %

№ вар.	Варианты опыта	Слой поч-вы, см	2011	2012	2013	Среднее
1	Контроль	0-20	39,6	39,3	39,3	39,4
		20-40	39,6	39,6	39,2	39,5
2	Фон (N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀)	0-20	39,6	39,6	39,3	39,5
		20-40	39,6	39,6	39,2	39,5
3	Фон +N25 +T25	0-20	43,0	42,2	41,5	42,2
		20-40	40,3	39,9	39,6	39,9
4	Фон +N25 +T25+ ЭМ	0-20	43,0	42,6	42,2	42,6
		20-40	40,7	39,9	39,9	40,2
5	Фон +N25 +T50	0-20	44,1	43,7	43,0	43,6
		20-40	41,0	40,7	39,9	40,5
6	Фон +N25 +T50+ ЭМ	0-20	45,2	44,8	43,7	44,6
		20-40	41,4	41,0	40,3	40,9
7	Фон +N25 +T75	0-20	47,1	46,3	45,2	46,2
		20-40	42,1	41,8	41,4	41,8
8	Фон +N25 +T75+ ЭМ	0-20	47,8	46,7	45,6	46,7
		20-40	43,2	42,9	42,1	42,7
9	Фон +N25 +T100	0-20	48,1	47,4	46,3	47,3
		20-40	44,3	43,6	42,9	43,6
10	Фон +N25 +T100+ ЭМ	0-20	48,5	47,8	46,3	47,5
		20-40	44,7	43,6	42,9	43,7
НСР ₀₅		0-20	1,05	1,11	1,09	1,08

Примечание. Во всех вариантах плотность твердой фазы в среднем принята 2,70 г/см³ для слоя 0–20 см и 2,73 г/см³ для слоя 20–40 см.

Наибольшее разуплотнение почвы отмечалось при увеличении дозы торфа до 100 т/га. Наиболее благоприятное физическое состояние почвы по показателям плотности сложения и пористости складывается при внесении NPK + навоза 25 т/га + 100 т/га торфа.

Самыми благоприятными свойствами для сельскохозяйственных культур обладают структурные почвы. Супесчаные дерново-подзолистые почвы характеризуются слабовыраженным структурообразованием. Исследования показали, что внесение в

почву органических удобрений в виде навоза и торфа улучшало агрономически ценные фракции. Среди всех экспериментальных вариантов наиболее благоприятная структура формировалась при внесении минеральных удобрений (навоза в дозе 25 т/га и торфа 100 т/га). Здесь содержание агрономически ценных агрегатов в пахотном слое почвы в среднем за три года составляло 70,1 % и было больше контроля примерно в 1,3 раза. Сумма агрономически ценных агрегатов увеличивалась до 70–72 %. Коэффициент структурности почв возрос до 2,35–2,58 с дозой торфа 100 т/га. Количество водопрочных агрегатов увеличилось в среднем в 1,40 раза. Исследования показали, что при комплексном внесении органико-минеральных удобрений почвенная структура существенно улучшается вследствие разуплотнения почвы, повышения содержания органического вещества и гумуса, а также внесения и активизации почвенных микроорганизмов и бактерий. Внесение больших доз торфа (100 т/га) обеспечивает благоприятную структуру пахотного слоя почвы.

Почва как полидисперсная система способна поглощать и удерживать воду. От содержания воды в почве зависит интенсивность протекающих в ней биологических, химических и физико-химических процессов, передвижение питательных элементов, водно-воздушный и тепловой режимы, ее физико-химические свойства, то есть важнейшие показатели плодородия почв. Недостаток и избыток влаги в почве ограничивает продуктивность растений.

Проведенные исследования показали, что внесение минеральных удобрений, навоза и торфа способствовало повышению водоудерживающей способности почвы и запасов продуктивной влаги в слое почвы 0–60 см (табл. 3.5).

При внесении в почву только минеральных удобрений показатели водно-физических свойств дерново-подзолистой почвы практически не изменяются, но внесение в почву 100 т/га торфа обеспечивало существенное повышение наименьшей влагоемкости почв, а следовательно, и запасов продуктивной влаги. Увеличение наименьшей влагоемкости почв отмечалось благодаря улучшению структурного состояния легких дерново-подзолистых почв в результате их окультуривания при повышенных дозах органики. В вариантах 8 и 10, где наряду с внесением торфа в количестве 75 и 100 т/га был использован микробный препарат «Бай-

кал ЭМ-1», зафиксированы наибольшие значения максимальной гигроскопичности.

Таблица 3.5

Водно-физические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы в слое 0-60 см (ср. 2012–2013)

№ вар.	Варианты опыта	Наименьшая влагоемкость, % от массы	Максимальная гигроскопичность, % от массы	Влажность завядания, % от массы	Продуктивная влага	
					%	мм
1	Контроль	12,1	3,9	5,8	6,3	59,8
2	Фон (N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀)	12,2	3,8	5,7	6,5	61,8
3	Фон +N25 +T25	12,6	3,9	5,9	6,7	64,1
4	Фон+N25+T25+ЭМ	12,6	4,0	6,0	6,7	62,0
5	Фон +N25 +T50	13,2	4,1	6,1	7,1	67,2
6	Фон+N25+T50+ЭМ	13,4	4,2	6,2	7,1	66,5
7	Фон +N25 +T75	14,1	4,3	6,4	7,7	70,1
8	Фон+N25+T75+ЭМ	14,3	4,3	6,5	7,8	70,4
9	Фон +N25 +T100	14,3	4,4	6,6	7,7	70,6
10	Фон+N25+T100+ЭМ	14,5	4,6	6,7	7,5	71,6
	НСР ₀₅	0,4	0,15	-	-	-

Одним из важнейших показателей водных свойств почв является продуктивная влага. Изучаемые деградированные дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава характеризуются невысоким продуктивным запасом влаги. Максимальный эффект в накоплении продуктивной влаги в слое 0–60 см получен от внесения в почву 100 т/га торфа, минеральных удобрений и навоза 25 т/га за счет улучшения наименьшей влагоемкости. При этом микробный препарат на запасы продуктивной влаги в почве практически не влияет.

Почвенное плодородие определяется в основном содержанием в ней органических веществ, реакцией почвенного раствора, содержанием поглощенных оснований, составом почвенно-поглощающего комплекса и содержанием доступных для растений элементов питания. Реакция почвы, ее кислотность оказывают большое влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов, на скорость и направленность происходящих в ней химических и биохимических процессов.

Результаты исследований динамики обменной кислотности пахотного слоя почвы (0–20 см) показали, что ее значение при внесении органических удобрений (навоз и торф по 25 т/га) на фоне минеральных снижают степень кислотности от кислых до слабокислых и даже до близко к нейтральным величинам. Гидролитическая кислотность включает менее подвижную часть поглощенных ионов водорода, труднее обменивающихся на катионы почвенного раствора. В среднем за годы исследований в контроле и фоне минерального питания гидролитическая кислотность почвы не изменялась и находилась в пределах 2,8–3,1 мг-экв/100 г. Но в вариантах с органическими удобрениями по сравнению с фоном из минеральных удобрений гидролитическая кислотность варьировала от 2,7 до 3,1 мг-экв/100 г почвы.

Важнейшими характеристиками физико-химических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы являются сумма обменных оснований и емкость поглощения (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Сумма обменных оснований и емкость поглощения в слое почвы 0-20 см

№ вар.	Варианты опыта	S, мг-экв/100 г почвы				T, мг-экв/100 г почвы			
		2011	2012	2013	среднее	2011	2012	2013	Среднее
1	Контроль	2,98	3,12	3,31	3,14	5,68	5,92	6,31	5,94
2	Фон (N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀)	3,48	3,87	4,37	3,91	6,38	7,07	7,67	7,01
3	Фон +H25 +T25	5,23	6,05	7,11	6,13	8,33	10,05	8,21	8,83
4	Фон +H25 +T25+ ЭМ	5,78	6,62	7,52	6,64	8,88	10,52	8,72	9,34
5	Фон +H25 +T50	6,18	6,73	7,86	6,92	9,58	10,33	9,16	9,72
6	Фон +H25 +T50+ ЭМ	6,73	7,04	8,17	7,31	10,23	10,74	9,67	10,21
7	Фон +H25 +T75	6,61	7,39	8,42	7,47	10,11	11,19	10,12	10,47
8	Фон +H25 +T75+ ЭМ	7,65	7,56	8,68	7,96	11,35	11,16	10,48	10,99
9	Фон +H25 +T100	7,12	7,84	8,79	7,92	10,42	11,54	10,39	10,79
10	Фон +H25 +T100+ ЭМ	7,73	8,05	9,27	8,35	11,33	11,95	10,87	11,38
	НСП ₀₅	0,40	0,44	0,63	0,49	-	-	-	-

Внесение минеральных и органических удобрений положительно сказалось на увеличении суммы обменных оснований. С повышением дозы торфа емкость катионного обмена заметно возрастает. Внесение больших доз органических удобрений (25 т/га навоза + 75 и 100 т/га торфа) в варианте 7 и 9 обеспечивало увеличение суммы поглощенных оснований и емкости катионного обмена от низкого уровня (контроль и фон) до среднего. Дополнительное внесение микробного препарата к органическим удобрениям увеличивало сумму обменных оснований в среднем за годы исследований на 4–5 мг-экв/100 г, или на 6–8 %, что вызвано активацией в почве микробиологических процессов.

Реакция почвенного раствора зависит не только от размеров обменной и гидролитической кислотности, но и от степени насыщенности почвы основаниями. Она показывает, какая часть общей емкости приходится на поглощенные основания. Дерново-подзолистая почва на контроле мало насыщена основаниями (53 %). Внесение минеральных удобрений слабо повлияло на этот показатель (56 %). Органические удобрения резко поднимали степень насыщенности почвы основаниями на 23–32 %.

Важнейшей частью почвы является органическое вещество. Гумус – важнейший потенциальный показатель почвенного плодородия. С повышением его содержания усиливаются экологические функции почвы. Внесение в почву только минеральных удобрений не способствовало гумусообразованию (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Содержание гумуса в слое 0-20 см, %

№ вар.	Варианты опыта	2011		2012		2013.		Среднее	
		осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	
1	Контроль	1,29	1,30	1,29	1,30	1,28	1,30	1,29	
2	Фон (N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀)	1,32	1,33	1,35	1,34	1,38	1,34	1,35	
3	Фон +N25 +T25	1,39	1,40	1,52	1,51	1,52	1,46	1,48	
4	Фон+N25+T25+ЭМ	1,43	1,44	1,55	1,56	1,58	1,50	1,52	
5	Фон +N25 +T50	1,49	1,51	1,61	1,62	1,64	1,57	1,58	
6	Фон+N25+T50+ЭМ	1,53	1,54	1,64	1,65	1,67	1,60	1,61	
7	Фон +N25 +T75	1,60	1,61	1,71	1,70	1,74	1,66	1,68	
8	Фон+N25+T75+ЭМ	1,65	1,66	1,75	1,75	1,80	1,71	1,73	
9	Фон +N25 +T100	1,73	1,72	1,82	1,82	1,84	1,77	1,80	
10	Фон+N25+T100+ЭМ	1,78	1,79	1,86	1,85	1,89	1,82	1,84	
НСР ₀₅		0,23	0,26	0,21	0,22	0,23	0,29	0,22	

При увеличении дозы внесения торфа с 25 до 100 т/га содержание гумуса в среднем за три года эксперимента увеличилось на 0,04–0,36 % в слое почвы 0–20 см в зависимости от внесения торфа и ЭМ-1. Тенденция повышения гумусообразования от внесения ЭМ-культуры в сочетании с органо-минеральными удобрениями сохранялась.

В почве беспрерывно идут процессы разложения органического вещества, в результате которого накапливаются минеральные формы азота. Ближайший резерв пополнения минеральных соединений азота – легкогидролизуемый.

При применении в эксперименте полного минерального питания НРК резко возрастало содержание легкогидролизуемого азота до 83 мг/кг. Применение на фоне минеральных удобрений навоза 25 т/га и торфа с 25 до 100 т/га увеличивало накопление данной формы азота до 355 кг/га (табл. 3.8). Обеспеченность растений азотом на всех вариантах отмечалось, как очень высокая.

Таблица 3.8

Содержание легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и калия на дерново-подзолистой супесчаной почве в слое 0–20 см, мг/кг

№ в а р.	N _{гидр}				P ₂ O ₅				K ₂ O			
	2011	2012	2013	2011–2013	2011	2012	2013	2011–2013	2011	2012	2013	2011–2013
1	24,2	23,5	21,8	23	68,4	39,7	25,4	45	36,2	32,1	31,4	33
2	67,5	81,2	98,7	83	100,6	108,7	112,3	107	67,8	62,2	69,6	67
3	187,5	236,8	251,1	225	126,8	127,6	133,5	129	69,4	72,5	77,8	73
4	198,6	248,8	261,2	236	129,7	135,2	141,8	136	76,4	74,5	79,2	77
5	279,3	296,5	319,6	299	143,3	145,8	151,8	147	78,7	84,6	88,9	84
6	291,2	307,2	330,4	310	148,7	157,2	162,8	156	83,3	91,7	95,2	90
7	332,1	366,1	387,5	362	157,1	164	166,9	163	90	98,3	100,7	96
8	353,4	371,8	387,1	371	162,1	171,7	173,8	169	94,3	103,8	106,8	102
9	414,8	425,7	436,3	426	170,9	182,3	186,5	180	101,3	111,9	120,2	111
10	425,6	436,4	450,4	438	175,4	186,2	189,9	184	105,2	115,9	123,4	115

Анализ содержания подвижного фосфора в почве показал, что при внесении минеральных и органических удобрений его количество заметно возрастало. При всех дозах органических удобрений внесение микробиологического препарата «Байкал ЭМ-1» отмечалась тенденция повышения подвижных соединений

фосфора в пахотном слое. Подвижный, обменный калий выражает степень обеспеченности почв этим элементом. Дерново-подзолистые почвы, тем более легкого гранулометрического состава слабо обеспечены этим элементом. Внесение калия в составе NPK повысило его содержание до 67 мг/кг (низкое). При совместном внесении навоза 25 т/га и торфа 25 т/га на общем фоне минеральных удобрений количество калия в пахотном слое почвы в среднем за исследуемые годы увеличилось с 67 до 73 мг/кг. При применении более высоких доз органических удобрений (50, 75 и 100 т/га) содержание обменного калия в пахотном слое увеличивалось соответственно в 1,3; 1,5 и 1,7 раза.

Таким образом, на фоне применения минеральных удобрений при внесении органических, особенно в сочетании с микробным препаратом, содержание подвижных форм калия достигает более оптимальных величин.

Химические элементы, содержащиеся в растениях и почвах в концентрациях от тысячных до сотысячных долей процента, называют микроэлементами. Избыточное количество или недостаток микроэлементов может привести к нарушению деятельности ферментативного аппарата, что в конечном итоге способно нарушить обмен веществ у растений и микроорганизмов. При систематическом поступлении тяжелых металлов с минеральными удобрениями, пестицидами и гербицидами, а также промышленными выбросами они могут накапливаться в верхнем слое почвы в больших количествах и оказывать отрицательное воздействие на ее свойства и плодородие, структуру урожая и его количество, поступать с фильтрационными водами в грунтовые и поверхностные источники.

При оценке загрязнения тяжелыми металлами большой интерес представляет пахотный слой почвы 0–20 см. Результаты исследований (табл. 3.9) показали, что дерново-подзолистые почвы содержат незначительное количество тяжелых металлов, значительно ниже ПДК.

Внесение в эксперименте органических удобрений заметно снижало их содержание по сравнению с контролем. Внесение микробиологического препарата способствовало незначительному снижению содержания тяжелых металлов по сравнению с вариантами без его внесения.

Таблица 3.9

**Содержание подвижных соединений тяжелых металлов
в слое почвы 0–20 см, 2013 г.**

Тяжелые металлы	Исходные данные	В конце исследований по вариантам										ПДК
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cu	1,2	1,2	1,3	1,1	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	3
Zn	9,3	9,3	9,4	8,8	8,7	8,5	8,5	8,5	8,4	8,4	8,2	23
Co	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	5
Ni	0,12	0,12	0,13	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	4
Pb	2,07	2,06	2,09	1,95	1,93	1,76	1,72	1,70	1,69	1,69	1,67	6
Mn	20	19,5	21,0	18,5	18,1	16,8	16,3	16,1	15,8	15,6	15,5	400

Почва – благоприятная среда для жизнедеятельности различных групп микроорганизмов. При внесении минеральных и органических удобрений микробиологические процессы в почве усиливаются. Определение биологической активности по разложению льняной ткани (апликационный метод) показал на положительное воздействие органических удобрений, вносимых в почву, на жизнедеятельность целлюлозоразрушающих бактерий и разложение безазотистых органических соединений. Самая высокая активность микроорганизмов в почве отмечается на варианте 10 (фон + 25 т навоза + 100 т торфа + обработка препаратом «Байкал ЭМ-1») и составляет 41,7 %. Биологическая активность микроорганизмов, в свою очередь, влияет на ускорение разложения органического вещества и образования гумуса в почве.

В рамках изучения восстановления плодородия деградированных почв применялась технология возделывания горохово-овсяной смеси на зеленый корм с внесением различных доз органико-минеральных удобрений.

Внесение минеральных удобрений в количестве $N_{30}P_{30}K_{60}$ по д. в. увеличивало рост растений в высоту к уборке в среднем на 20,1 % у гороха и на 15,9 % у овса. По сравнению с фоном минеральных удобрений внесение органических удобрений способствовало увеличению высоты растений на 21,9 % у гороха и на 15,8 % у овса в варианте 3 (доза навоза и торфа по 25 т/га) и на 59,5 и 46,7 % при дозе навоза 25 т/га и торфа 100 т/га (вар. 9).

Следовательно, повышение дозы торфа в четыре раза с 25 т/га до 100 т/га увеличивало рост растений гороха на 37,6 %, овса – на 30,9 %. Дополнительное внесение микробного препарата к органическим удобрениям благоприятно сказалось на линейном росте растений. При этом средняя высота растений увеличивалась на 3–4 % (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Показатели роста горохо-овсяной смеси к моменту уборки

№ вар.	Варианты опыта	Высота растений, см							
		2011		2012		2013		Среднее	
		горох	овес	горох	овес	горох	овес	горох	овес
1	Контроль	28,8	45,6	32,5	47,4	31,2	44,9	30,8	46,0
2	Фон (N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀)	35,3	53,2	38,6	54,3	37,2	52,3	37,0	53,3
3	Фон +Н25 +Т25	46,6	62,8	45,8	62,6	42,9	59,7	45,1	61,7
4	Фон +Н25 +Т25+ ЭМ	48,5	65,7	47,9	65,1	44,2	62,5	46,9	64,4
5	Фон +Н25+Т50	50,9	68,3	50,1	67,5	47,8	65,6	49,6	67,1
6	Фон +Н25 +Т50+ ЭМ	53,4	71,5	52,6	70,2	49,1	67,4	51,7	69,7
7	Фон +Н25+Т75	55,8	74,6	55,0	73,0	52,6	71,1	54,5	72,9
8	Фон +Н25 +Т75+ ЭМ	57,7	77,4	57,2	75,3	53,7	73,2	56,2	75,3
9	Фон +Н25 +Т100	60,2	80,2	59,7	77,7	57,1	76,6	59,0	78,2
10	Фон +Н25 +Т100+ ЭМ	62,0	82,1	60,8	79,6	58,7	78,5	60,5	80,1
	НСР ₀₅	1,45	2,27	1,64	2,38	1,18	1,79	1,42	2,15

Урожайность зеленой массы горохо-овсяной смеси во многом определяется формированием площадью листовой поверхности и накоплением сухой массы. Анализ полученных данных по формированию максимальных значений листовой поверхности у горохо-овсяной смеси показал, что органо-минеральные удобрения существенно повышали значения листовой поверхности.

Формирование основной массы корневой системы растений зависит от биологических особенностей фазы ее развития, уровня агротехники и питания растений, почвенно-климатических и других условий. При внесении органических удобрений на фоне минеральных корневая система интенсивно усваивает питательные элементы, обеспечивая более эффективное использование воды и питательных веществ из активного слоя почвы. Внесение только минеральных удобрений увеличивало общую массу корневых

остатков в слое почвы – 0–60 см на 25,4 %. По сравнению с фоновым внесением органических удобрений в зависимости от их дозы повышалось общее содержание корневых остатков на 18,8–92,4 %. Дополнительное ежегодное внесение микробиологического препарата повышало массу корней в слое 0–60 см на 4,8–12,7 % по сравнению с органическими удобрениями в зависимости от их дозы.

Основным показателем изучения эффективности внесения различных видов удобрений на дерново-подзолистых почвах является урожайность. Полученные в эксперименте результаты урожайности представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11

Урожайность зеленой массы горохо-овсяной смеси, т/га

№ вар.	Варианты опыта	Урожайность, т/га				Прибавка урожайности	
		2011	2012	2013	Среднее	т/га	%
1	Контроль	13,4	14,7	13,6	13,9	0	100
2	Фон (N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀)	17,3	18,5	17,6	17,8	3,9	128,1
3	Фон +H25 +T25	24,1	22,9	21,1	22,7	8,8	163,3
4	Фон +H25 +T25+ ЭМ	25,3	24,4	22,9	24,2	10,3	174,1
5	Фон +H25 +T50	26,7	25,6	24,2	25,5	11,6	183,5
6	Фон +H25 +T50+ ЭМ	28,3	27,2	25,8	27,1	13,2	195,0
7	Фон +H25 +T75	29,5	28,1	28,5	28,7	14,8	206,5
8	Фон +H25 +T75+ ЭМ	31,2	30,0	29,1	30,1	16,2	216,6
9	Фон +H25 +T100	32,3	31,5	31,0	31,6	17,7	227,3
10	Фон +H25 +T100+ ЭМ	33,4	32,2	31,8	32,5	18,6	233,8
	НСП ₀₅ (А)	1,42	1,97	1,38	2,16	-	-
	НСП ₀₅ (В)	0,14	0,32	0,27	0,78	-	-

Результаты эксперимента показали, что на легких дерново-подзолистых почвах весьма эффективным удобрением являются органические удобрения, действие которых положительно сказывалось на урожайности.

вается на повышении урожайности зеленой массы горохо-овсяной смеси. На фоне минеральных удобрений с повышением дозы органических удобрений (от 50 до 125 т/га) урожайность увеличивалась на 28–83 %. При этом лучше развивалась вегетативная масса горохо-овсяной смеси, поэтому создание оптимального питательного режима является важнейшим условием получения высоких и устойчивых урожаев зеленой массы.

Был проведен корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности горохо-овсяной смеси от дозы органических удобрений на фоне минеральных с дополнительным внесением микробиологического препарата и без него. Уравнение связи с применением микробиологического препарата имеет вид:

$$Y = 13,9 + 0,0298 \cdot X_1 + 0,1111 \cdot X_2 + 0,6351 \cdot X_3; r = 0,99; R^2 = 0,98$$

(3.1)

Уравнение связи без применения микробиологического препарата:

$$Y = 13,9 + 0,0321 \cdot X_1 + 0,1149 \cdot X_2; r = 0,99; R^2 = 0,98 \quad (3.2)$$

где Y – урожайность горохо-овсяной смеси в т/га;

X_1 – минеральные удобрения (120 кг/га по д. в.);

X_2 – органические удобрения (50, 75, 100 и 120 т/га);

X_3 – микробиологический препарат (2 л/га).

Важнейшими источниками энергии для животных, обеспечивающих нормализацию процессов пищеварения, являются такие показатели, как протеин, жир, клетчатка и общая зольность, а также концентрация отдельных элементов – фосфора и кальция (табл. 3.12).

Установлено, что минеральные удобрения не оказывали большого влияния на биохимический состав горохо-овсяной смеси. На общем фоне минеральных удобрений внесение органических удобрений заметно сказывалось на повышении питательной ценности кормовой массы горохо-овсяной смеси. Повышение дозы торфа до 50, 75 и 100 т/га (вар. 5, 7 и 9) сопровождалось четкой закономерностью в увеличении содержания сырого жира, сырого протеина, сырой золы и концентрации фосфора и кальция.

В варианте 9 при дополнительном внесении 25 т/га навоза и 100 т/га торфа по сравнению с фоном минеральных удобрений (вар. 2) произошло увеличение содержания сырого жира в 1,27

раза, сырого протеина – в 1,15, сырой золы – в 1,35, а содержание фосфора и кальция – в 1,12 и 1,08 раза соответственно.

Таблица 3.12

Влияние органо-минеральных удобрений и микробного препарата на качество горохо-овсяной смеси (ср. 2011–2013 гг.)

№ вар.	Варианты опыта	% на абсолютно сухое вещество					
		Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырой протеин	Сырая зола	Фосфор	Кальций
1	Контроль	33,8	2,1	11,1	6,2	0,32	0,61
2	Фон (N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀)	33,4	2,2	11,7	6,8	0,34	0,63
3	Фон +Н25 +Т25	32,9	2,4	12,3	7,7	0,35	0,65
4	Фон +Н25 +Т25+ ЭМ	32,7	2,6	12,6	8,0	0,36	0,66
5	Фон +Н25+Т50	32,1	2,5	12,8	8,4	0,36	0,66
6	Фон +Н25 +Т50+ ЭМ	32,1	2,6	13,1	8,8	0,37	0,67
7	Фон +Н25 +Т75	31,4	2,8	13,1	8,8	0,37	0,67
8	Фон +Н25 +Т75+ ЭМ	31,3	2,7	13,3	9,1	0,38	0,68
9	Фон +Н25 +Т100	31,7	2,8	13,4	9,2	0,38	0,68
10	Фон +Н25 +Т100+ ЭМ	31,7	3,0	13,7	9,5	0,40	0,70
	НСР ₀₅	0,73	0,28	0,81	1,08	0,22	0,36

В то же время содержание сырой клетчатки уменьшилось с 33,4 до 31,7 %, или 1,05 раза. Дополнительное внесение микробиологического препарата «Байкал ЭМ-1» на фоне внесения органо-минеральных удобрений положительно отражалось на качестве корма горохо-овсяной смеси при всех дозах вносимых органических удобрений. При этом кормовая продукция по рассматриваемым биохимическим показателям при внесении микробиологического препарата улучшалась на 5–10 %.

3.4. Улучшение продуктивности торфяной почвы при песковании и глиновании

Внесение больших доз минерального грунта из глины и песка коренным образом изменяет основные агрофизические свойства мелиорируемой торфяной почвы. В результате заметно

изменяются водно-физические свойства торфа, повышается плотность сложения и плотность твердой фазы, снижаются пористость и влагоемкость в процессе формирования органо-минерального комплекса.

Как показали исследования, применение даже небольших доз минерального грунта (400 т/га) вызывает рост плотности сложения на 67–82 %, а при увеличении дозы минерального грунта до 800 т/га плотность сложения увеличилась на 149–161 %. Показатели большего увеличения плотности сложения были получены при внесении глины в торфяно-болотную почву. Через три года после внесения минерального грунта в пахотный слой торфяно-болотной почвы плотность сложения увеличилась с 0,34 г/см³ (контроль) до 0,65, 0,77 и 0,91 г/см³ при глиновании и до 0,58, 0,73 и 0,85 г/см³ при песковании. После внесения в торфяную залежь минерального грунта также существенно изменяется зольность пахотного слоя, как при внесении глины, так и песка. С увеличением дозы минерального грунта от 400 до 800 т/га зольность смешанной торфяной почвы повышалась на 38–40 %.

В результате исследований выявлено, что включение минерального грунта в пахотный слой торфяной почвы заметным образом изменяет плотность твердой фазы. В среднем за годы исследований плотность твердой фазы гумусового горизонта при внесении минерального грунта по сравнению с контролем (чистая торфяная почва) возрастала в 1,4 раза, при дозе минерального грунта 400 т/га в 1,33–1,36 раза, при дозе 600 т/га – в 1,40–1,42 раза и при дозе 800 т/га – в 1,44–1,46 раза.

Вследствие увеличения в пахотном горизонте показателей плотности сложения и плотности твердой фазы произошло снижение значений общей пористости почвы. В опытах общая пористость пахотного слоя торфяной почвы (контроль) составила 81,2 %, после внесения минерального грунта она уменьшилась и составила при дозе 400 т/га 76,4–77,2 %, при дозах 600 и 800 т/га – соответственно 71,8–72,5 % и 67,1–67,9 %. С общей пористостью тесно связана аэрация почвы, которая является важной экологической характеристикой. Объем пор, заполненных воздухом, зависит от многих факторов, но в первую очередь от гранулометрического и агрегатного состава почв. Вследствие внесения минерального грунта в торфяную почву аэрация пахотного горизон-

та снизилась и по своим значениям не выходила за пределы оптимальных для растений показателей (табл. 3.13).

Таблица 3.13

Аэрация пахотного слоя торфяной почвы при внесении минерального грунта, %

№ вар.	Варианты опыта	2011	2012	2013	2011–2013	Уменьшение к контролю
1	Контроль	46,1	46,0	45,6	45,9	-
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	43,3	43,2	42,9	43,1	-
3	Фон + глина 400 т/га	27,7	23,9	22,8	24,8	1,85
4	Фон + глина 600 т/га	19,9	16,9	18,1	18,3	2,51
5	Фон + глина 800 т/га	14,3	13,6	12,9	13,6	3,38
6	Фон + песок 400 т/га	32,8	32,0	32,2	32,3	1,42
7	Фон + песок 600 т/га	25,8	24,4	24,1	24,8	1,85
8	Фон + песок 800 т/га	22,6	21,1	20,4	21,3	2,15

При внесении в торфяно-болотную почву минеральных добавок существенно изменились водные свойства почв, которые определяют поведение почвенной влаги. Основными из водных свойств являются водоудерживающая, водопропускная и водо-подъемная способность. Результаты исследований по изменению максимальной гигроскопичности сформированной органо-минеральной смесью приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14

Максимальная гигроскопичность пахотного слоя при внесении минерального грунта, %

№ вар.	Варианты опыта	2011	2012	2013	2011–2013	Уменьшение к контролю
1	Контроль	29,2	29,1	28,8	29,0	-
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	28,7	28,6	28,5	28,6	-
3	Фон + глина 400 т/га	23,5	22,9	22,6	23,0	1,26
4	Фон + глина 600 т/га	19,4	19,0	18,7	19,0	1,53
5	Фон + глина 800 т/га	16,6	16,1	15,8	16,2	1,79
6	Фон + песок 400 т/га	21,9	21,5	21,2	21,5	1,35
7	Фон + песок 600 т/га	18,8	18,5	18,1	18,5	1,57
8	Фон + песок 800 т/га	15,1	14,9	14,7	14,9	1,95
	НСР _{0,95}	2,42	2,34	2,25	3,20	-

Под влиянием добавок из глины максимальная гигроскопическая влага в среднем за три года снизилась в 1,3–1,8 раза, а при внесении в качестве добавки песка – в 1,4–2,0 раза по сравнению с контролем. Влажность завядания торфяно-болотной почвы и сформированной органо-минеральной смеси определялась расчетным путем. При внесении в почву добавки из глины и песка она уменьшилась соответственно до 24,3–34,5 и 22,4–32,3% от массы. С увеличением дозы минеральной добавки с 400 до 800 т/га влажность завядания снижалась в 1,4 раза.

При внесении в пахотный горизонт торфяно-болотной почвы минеральной добавки из глины и песка также снижались показатели влагоемкости почвы. При дозе внесения глины в количестве 400–800 т/га показатели полной влагоемкости по сравнению с контролем снизились в 1,6–2,4 раза, а при внесении песка в таком же количестве – в 1,7–2,6 раза. С увеличением дозы минеральной добавки в 2 раза с 400 до 800 т/га показатели наименьшей влагоемкости снизились в среднем за три года от 133,3 до 86,1 % от массы при внесении глины и от 127,4 до 80,5 % от массы при добавке из песка, или в 1,6 раза. Аналогичные изменения при внесении минеральных добавок также были установлены в показателе капиллярной влагоемкости.

Особый практический интерес при мелиоративных и земледельческих расчетах и определении продуктивных запасов влаги в почве представляет наименьшая влагоемкость (табл. 3.15).

Таблица 3.15

Изменение наименьшей влагоемкости пахотного слоя торфяной почвы при внесении минерального грунта, % от массы

№ вар.	Варианты опыта	2011	2012	2013	2011-2013	Уменьшение к контролю
1	Контроль	109,7	104,9	101,6	105,4	-
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	108,5	104,2	100,8	104,5	-
3	Фон + глина 400 т/га	77,6	69,3	65,2	70,7	1,49
4	Фон + глина 600 т/га	70,4	63,1	59,5	64,3	1,64
5	Фон + глина 800 т/га	65,2	59,2	56,0	60,1	1,75
6	Фон + песок 400 т/га	71,8	67,7	62,3	67,3	1,57
7	Фон + песок 600 т/га	62,8	58,9	55,7	59,1	1,78
8	Фон + песок 800 т/га	58,1	54,3	51,0	54,5	1,93
	НСР ₀₅	2,01	1,74	1,83	1,86	-

Величина наименьшей влагоемкости пахотного горизонта в годы исследований была меньше контроля в 1,4–1,6 раза при дозе глины 400 т/га и в 1,7–1,8 раза при увеличении дозы до 800 т/га. Эти показатели при внесении песка соответственно увеличивались в 1,5–1,6 и до 1,9 раза.

Сельскохозяйственные культуры для своего роста и развития используют в основном продуктивную влагу. Результаты по определению продуктивной влажности почвы и запасов продуктивной влаги приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16

Продуктивная влажность и запасы влаги в пахотном слое торфяной почвы при внесении минерального грунта

№ вар.	Варианты опыта	2011	2012	2013	2011-2013	Изменения по сравнению с контролем
Продуктивная влажность в % от массы						
1	Контроль	65,9	61,3	58,4	61,9	-
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	65,5	61,3	58,1	61,6	-
3	Фон + глина 400 т/га	42,4	35,0	31,3	36,2	1,71
4	Фон + глина 600 т/га	41,3	34,6	30,7	35,5	1,74
5	Фон + глина 800 т/га	40,3	34,1	30,2	34,9	1,77
6	Фон + песок 400 т/га	39,0	35,5	30,5	35,0	1,77
7	Фон + песок 600 т/га	34,6	31,2	28,6	31,4	1,97
8	Фон + песок 800 т/га	33,5	31,0	28,0	30,8	2,01
Запас продуктивной влаги в мм						
1	Контроль	42,2	40,4	39,7	40,8	-
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	42,5	40,9	40,8	41,4	-
3	Фон + глина 400 т/га	45,7	43,6	42,7	44,0	1,08
4	Фон + глина 600 т/га	55,3	51,9	47,3	51,5	1,26
5	Фон + глина 800 т/га	65,3	59,3	55,0	59,9	1,47
6	Фон + песок 400 т/га	43,6	41,4	41,4	42,1	1,03
7	Фон + песок 600 т/га	47,0	44,7	43,8	45,2	1,11
8	Фон + песок 800 т/га	52,3	51,5	47,6	50,4	1,24

На фоне минеральных удобрений при внесении добавок в торф из минерального грунта продуктивный запас влаги при наименьшей влагоемкости существенно возрастал, особенно под влиянием добавок из глины. Внесение глины в объеме 400 т/га

увеличивало содержание продуктивной влаги в среднем за три года по сравнению с контролем в 1,08 раза (с 40,8 до 44,0 мм). Повышение дозы глины до 800 т/га обеспечивало увеличение продуктивных запасов влаги до 59,9 мм, или в 1,5 раза, чем на контроле. Похожие изменения выявлены и при внесении песка. По сравнению с контролем пескование в дозе 400 т/га способствовало увеличению запаса продуктивной влаги в слое 0–20 см от 40,8 до 42,1 мм, или в 1,03 раза, а при дозе песка 800 т/га эти значения увеличились до 50,4 мм, или в 1,24 раза. Внесение в пахотный слой почвы минеральных грунтов, особенно из глины, приводит к существенному изменению режима влажности торфяно-болотной почвы, регулируя ее в течение вегетационного периода, уменьшая влажность во влажные периоды и повышая в сухие до оптимальных значений.

Внесение минеральных грунтов в пахотный горизонт торфяных почв вызывает существенное улучшение их теплового режима, что обусловлено коренными изменениями их теплофизических свойств. Экспериментальные данные по изменению температуры почвы за вегетационный период показали, что различия в температуре почвы между вариантами с добавками минерального грунта сохраняются в течение всего вегетационного периода (табл. 3.17).

Однако выражены они лучше в первой половине вегетации, а с начала июля уменьшаются, особенно в вариантах с малыми дозами минеральных добавок. С увеличением дозы минерального грунта заметно уменьшается прогревание пахотного горизонта почвы. В среднем за три года вегетации овса (май – август) средняя температура пахотного горизонта почвы в контроле составляла 14,8 °С, а в вариантах с внесением в пахотный горизонт минерального грунта была выше на 0,5–1,5 °С и варьировала в пределах 15,3–16,3 °С в зависимости от дозы добавки и ее гранулометрического состава.

Улучшение агрофизических свойств и водного режима торфяно-болотных почв под влиянием минеральных добавок из глины и песка повлекло за собой существенные изменения их агрохимических показателей.

Данные эксперимента (табл. 3.18) показали, что обогащение торфяно-болотной почвы различными дозами песка и глины при-

водило к изменению как обменной, так и гидролитической кислотности.

Таблица 3.17

Изменение температуры пахотного горизонта торфяной почвы при внесении песка и глины, °С

№ вар.	Варианты опыта	Годы	Месяцы				Среднее за вегетацию
			V	VI	VII	VIII	
1	Контроль	2011	11,6	14,5	18,2	16,0	15,1
		2012	12,8	13,9	16,3	14,2	14,3
		2013	13,1	15,2	16,5	14,9	14,9
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	2011	11,7	14,5	18,0	16,1	15,1
		2012	12,6	13,8	16,3	14,2	14,2
		2013	13,0	15,1	16,5	14,9	14,9
3	Фон + глина 400 т/га	2011	12,4	14,8	18,3	16,3	15,5
		2012	13,4	14,3	16,8	14,6	14,8
		2013	13,9	15,6	17,0	15,4	15,5
4	Фон + глина 600 т/га	2011	12,7	15,0	18,5	16,6	15,7
		2012	13,8	14,6	17,1	14,9	15,1
		2013	14,3	16,0	17,4	15,7	15,9
5	Фон + глина 800 т/га	2011	13,2	15,5	18,9	17,0	16,2
		2012	14,3	15,1	17,7	15,4	15,6
		2013	14,6	16,4	17,9	16,2	16,3
6	Фон + песок 400 т/га	2011	12,7	14,9	18,5	16,5	15,7
		2012	13,6	14,5	17,0	14,8	15,0
		2013	14,2	15,8	17,3	15,6	15,7
7	Фон + песок 600 т/га	2011	12,9	15,1	18,8	16,8	15,9
		2012	14,1	14,7	17,2	15,1	15,3
		2013	14,5	16,1	17,7	15,8	16,0
8	Фон + песок 800 т/га	2011	13,3	15,8	19,2	17,3	16,4
		2012	14,5	15,3	18,0	15,6	15,9
		2013	14,8	16,7	18,2	16,4	16,5
НСР ₀₅		2011	0,29	0,21	0,25	0,23	-
		2012	0,22	0,17	0,22	0,19	-
		2013	0,19	0,16	0,15	0,12	-

Положительное воздействие глинования на кислотность пахотного горизонта отмечалось при увеличении дозы глины в два раза с 400 до 800 т/га. В этом случае обменная кислотность в среднем за годы исследований улучшилась с 5,4 до 6,2, а гидролитическая кислотность снизилась с 20,7 до 16,5 мг-экв/100 г. Увеличение дозы песка с 400 до 800 т/га улучшало обменную ки-

слотность с рН 5,3 до 6,1, а гидролитическую кислотность снижало от 27,5 до 21,2 мг-экв/100 г. Снижение кислотности почвы улучшает режим питания растений и уменьшает затраты на внесение высоких доз извести с целью нейтрализации кислотности.

Таблица 3.18

Реакция почвенной среды пахотного горизонта торфяной почвы при внесении песка и глины

Варианты опыта	рН _{KCl}				Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы			
	2011	2012	2013	2011-2013	2011	2012	2013	2011-2013
Контроль	5,0	5,0	5,1	5,0	43,7	42,6	40,8	42,4
Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	5,0	5,1	5,2	5,1	41,5	40,7	39,3	40,5
Фон + глина 400 т/га	5,4	5,4	5,5	5,4	22,4	21,0	18,7	20,7
Фон + глина 600 т/га	5,7	5,9	6,1	5,9	21,3	19,8	17,6	19,6
Фон + глина 800 т/га	6,0	6,2	6,3	6,2	17,7	16,4	15,5	16,5
Фон + песок 400 т/га	5,2	5,3	5,4	5,3	28,7	27,5	26,4	27,5
Фон + песок 600 т/га	5,5	5,6	5,8	5,6	26,4	24,9	23,0	24,8
Фон + песок 800 т/га	5,9	6,1	6,3	6,1	23,1	21,3	19,2	21,2
НСР ₀₅	0,24	0,30	0,33	0,29	2,82	2,21	2,38	2,47

Кислотность почв тесно связана со степенью насыщенности основаниями. Внесение в торфяно-болотную почву минерального грунта способствовало снижению суммы поглощенных оснований и емкости поглощения, а также увеличению степени насыщенности почвы основаниями при внесении как глины, так и песка (табл. 3.19).

В среднем за три года при внесении в пахотный горизонт торфяной залежи глины сумма поглощенных оснований уменьшилась с 88,9 мг-экв/100 г (в контроле) до 55,6–50,7 мг-экв/100 г, а при внесении песка – до 63,7–51,6 мг-экв/100 г в зависимости от дозы минерального грунта.

Таблица 3.19

**Сумм поглощенных оснований и емкость поглощения пахотного
слоя торфяной почвы при внесении песка и глины**

№ вар.	Варианты опыта	Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100г почвы				Емкость поглощения, мг-экв/100г почвы			
		2011	2012	2013	Среднее	2011	2012	2013	Среднее
1	Контроль	96,6	86,2	84,0	88,9	140,3	128,8	124,8	131,3
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	97,5	87,9	85,2	90,2	139	128,6	124,5	130,7
3	Фон + глина 400 т/га	56,8	55,3	54,8	55,6	79,2	76,3	73,5	76,3
4	Фон + глина 600 т/га	52,6	51,4	51,1	51,7	73,9	71,2	68,7	71,3
5	Фон + глина 800 т/га	51,1	50,6	50,3	50,7	68,8	67	65,8	67,2
6	Фон + песок 400 т/га	67,9	63,0	60,2	63,7	96,6	90,5	86,6	91,2
7	Фон + песок 600 т/га	52,3	51,4	51,0	51,6	78,7	76,3	74	76,4
8	Фон + песок 800 т/га	52,7	52,1	51,7	52,2	75,8	73,4	70,9	73,4
	НСР ₀₅	4,45	4,87	4,84	4,72	-	-	-	-

Емкость поглощения изменялась примерно в той же последовательности, что и сумма поглощенных оснований. Глинование и пескование торфяной залежи способствовали снижению емкости поглощения соответственно в 1,7–2,0 раза и в 1,4–1,8 раза, то есть глинование в большей степени снижало показатели емкости поглощения по сравнению с пескованием.

Степень насыщенности основаниями пахотного горизонта почвы (табл. 3.20) также изменялась, с повышением минерального грунта она незначительно увеличивалась. Если в контроле в среднем за три года степень насыщенности основаниями составляла 67,7 %, то при внесении минеральной добавки из глины она варьировала в пределах 72,9–75,4 %, а из песка – 69,8–71,1 %. При этом степень насыщенности основаниями увеличивалась по мере увеличения дозы минеральной добавки.

Таблица 3.20

**Степень насыщенности основаниями почвы пахотного слоя
при внесении песка и глины, %**

№ вар.	Варианты опыта	2011	2012	2013	Среднее
1	Контроль	68,9	66,9	67,3	67,7
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	70,1	68,4	68,4	69,0
3	Фон + глина 400 т/га	71,7	72,5	74,6	72,9
4	Фон + глина 600 т/га	71,2	72,2	74,4	72,5
5	Фон + глина 800 т/га	74,3	75,5	76,4	75,4
6	Фон + песок 400 т/га	70,3	69,6	69,5	69,8
7	Фон + песок 600 т/га	66,5	67,4	68,9	67,5
8	Фон + песок 800 т/га	69,5	71,0	72,9	71,1

Опытные данные (табл. 4.21) показали, что добавление минерального грунта в пахотный горизонт торфяно-болотной почвы интенсифицирует накопление доступных форм азота (сумма нитратного и аммиачного азота).

Таблица 3.21

Содержание подвижного азота, подвижного фосфора и обменного калия в пахотном слое торфяной почвы при внесении песка и глины

№ вар.	NH ₄ +NO ₃			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	2011	2013	Среднее	2011	2013	Среднее	2011	2013	Среднее
1	<u>396</u> 253,8	<u>334</u> 214,1	<u>365</u> 234,0	<u>128</u> 82,1	<u>123</u> 83,7	<u>126</u> 82,9	<u>162</u> 103,8	<u>147</u> 100,2	<u>155</u> 102,0
2	<u>468</u> 300,0	<u>435</u> 278,8	<u>452</u> 289,4	<u>211</u> 143,5	<u>163</u> 117,3	<u>187</u> 130,4	<u>172</u> 117,0	<u>160</u> 115,1	<u>166</u> 116,1
3	<u>432</u> 466,5	<u>417</u> 542,3	<u>425</u> 504,4	<u>229</u> 247,3	<u>176</u> 228,7	<u>203</u> 238,0	<u>203</u> 219,9	<u>167</u> 217,2	<u>185</u> 218,6
4	<u>401</u> 537,5	<u>379</u> 584,0	<u>390</u> 560,8	<u>271</u> 363,3	<u>204</u> 314,3	<u>238</u> 338,8	<u>218</u> 292,2	<u>174</u> 268,1	<u>196</u> 280,2
5	<u>362</u> 586,7	<u>344</u> 626,0	<u>353</u> 606,4	<u>323</u> 523,5	<u>242</u> 440,4	<u>283</u> 482,0	<u>229</u> 371,2	<u>186</u> 338,5	<u>208</u> 354,9
6	<u>443</u> 452,0	<u>428</u> 496,5	<u>436</u> 474,3	<u>204</u> 208,2	<u>178</u> 206,5	<u>191</u> 207,4	<u>189</u> 192,9	<u>162</u> 187,8	<u>176</u> 190,4
7	<u>400</u> 520,2	<u>386</u> 563,5	<u>393</u> 541,9	<u>236</u> 306,9	<u>198</u> 289,1	<u>217</u> 298,0	<u>196</u> 254,7	<u>169</u> 246,6	<u>183</u> 250,7
8	<u>364</u> 567,9	<u>355</u> 603,7	<u>360</u> 585,8	<u>252</u> 393,1	<u>222</u> 377,6	<u>237</u> 385,4	<u>198</u> 308,8	<u>172</u> 292,5	<u>185</u> 300,7
НСР ₀₅ мг/кг	3,58	3,06	3,32	1,74	1,61	1,67	3,45	2,97	3,21

Примечание: числитель – мг/кг почвы, знаменатель – кг/га.

В среднем за годы исследований применение минерального грунта из глины и песка в количестве 400–800 т/га увеличивало содержание суммы нитратного и аммиачного азота от 234,0 до 474,3–606,4 кг/га в зависимости от дозы вносимого материала и его гранулометрического состава.

Результаты исследований показали, что использование добавок минерального грунта способствует накоплению подвижного фосфора и обменного калия в пахотном горизонте почвы. По сравнению с фоном минеральных удобрений внесение в верхний горизонт торфяно-болотной почвы глины в размере 400–800 т/га увеличило содержание подвижного фосфора в среднем за годы исследований с 130,4 т/га до 238,0–482,0 т/га, или в 1,8–3,7 раза, а песка в тех же количествах – до 207,4–385,4 т/га, или в 1,6–3 раза. Аналогичный характер изменений почвы от минеральных добавок наблюдается также по содержанию обменного калия. Анализ полученных данных показал, что пескование и глинование на фоне внесения минеральных удобрений способствовали увеличению в пахотном горизонте почвы содержания обменного калия. Если в пахотном горизонте торфяно-болотной почвы содержание обменного калия в среднем за исследуемые годы составляло 155 мг/кг почвы, то на фоне внесения минеральных удобрений его количество увеличилось до 166 мг/кг, или в 1,1 раза, а запасы обменного калия в верхнем пахотном горизонте 0–20 см – со 102,0 до 116,1 т/га (в 1,14 раза). При дозе внесения в верхний почвенный горизонт торфяно-болотной почвы минерального грунта из глины дозой от 400 до 800 т/га содержание обменного калия увеличилось до 185–208 мг/кг, а его запасы возросли от 218,6 до 354,9 т/га, или в 1,6 раза. При песковании теми же дозами содержание обменного калия увеличилось до 176–185 мг/кг, или до 190,4–300,7 т/га, то есть увеличение дозы песка в 2 раза повышало содержание обменного калия также в 1,6 раза.

Одним из важнейших и наиболее показательных критериев функционирования агроценоза является биологическая активность почвы. Микроорганизмы служат чувствительными индикаторами, реагирующими на изменение условий среды обитания. Экспериментальные данные (табл. 3.22 и рис. 3.3) показали, что процесс разложения целлюлозы в почве вызывали как бактериальные, так и грибковые организмы.

Таблица 3.22

Интенсивность разложения целлюлозы в пахотном слое торфяной при внесении песка и глины (ср. 2011-2013 гг.)

№ вар.	Варианты опыта	Вес ткани до закладки, г	Вес ткани после закладки, г	Разложились ткани, %	Степень интенсивности процесса
1	Контроль	14,0	10,3	26,7	слабая
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	14,3	10,3	28,0	слабая
3	Фон + глина 400 т/га	13,8	8,7	37,3	средняя
4	Фон + глина 600 т/га	13,9	8,0	42,6	средняя
5	Фон + глина 800 т/га	14,1	7,5	46,9	средняя
6	Фон + песок 400 т/га	14,0	9,2	34,5	средняя
7	Фон + песок 600 т/га	13,8	8,4	38,9	средняя
8	Фон + песок 800 т/га	14,2	8,2	42,2	средняя
	HCP ₀₅	-	0,43	2,14	-

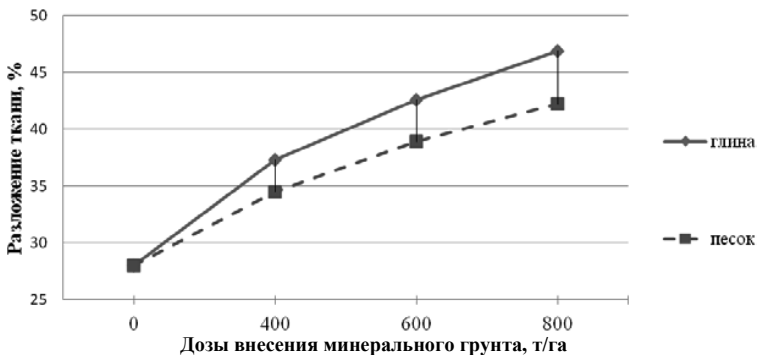


Рис. 3.3. Интенсивность разложения льняного полотна на торфяной почве в зависимости от дозы внесения минерального грунта

Максимальная целлюлозолитическая активность была зафиксирована при внесении в торфяно-болотную почву высоких доз минеральной добавки, особенно из глины (800 т/га).

Фотосинтетическая активность растений представляет собой совокупность ряда взаимосвязанных процессов. Особое значение имеют быстрота роста и размеры площади листьев (фотосинтетического аппарата), их положение и ориентация в пространстве. Интенсивность фотосинтетической деятельности растений и элементы структуры урожая овса даны в таблице 3.23.

Фотосинтетические показатели и элементы структуры урожая овса при внесении минерального грунта (ср. 2011–2013 гг.)

№ вар.	Вариант опыта	Smax, тыс. м ² /га	ЧПФ, г/(м ² ·сут.)	Масса 1000 семян, г	Масса зерна с одной метелки, г	Высота, см
1	Контроль	26,0	2,80	31,3	1,89	84,2
2	Фон (N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀)	26,9	3,41	31,6	1,95	88,0
3	Фон + глина 400 т/га	28,5	3,82	33,8	2,25	92,3
4	Фон + глина 600 т/га	28,6	3,93	34,0	2,29	92,3
5	Фон + глина 800 т/га	28,5	3,99	34,8	2,28	94,0
6	Фон + песок 400 т/га	26,6	3,09	31,9	2,11	88,5
7	Фон + песок 600 т/га	26,9	3,44	32,5	2,20	90,1
8	Фон + песок 800 т/га	27,6	3,75	34,0	2,19	91,1
НСР ₀₅		-	-	0,83	0,11	3,26

Максимальная площадь листьев наблюдалась в фазе молочно-восковой спелости и составила 26,0–28,6 тыс. м²/га в зависимости от варианта исследований. Высокие показатели массы 1000 семян и массы зерна с одной метелки отмечены на вариантах с внесением глины 600 и 800 т/га. Внесение высоких доз минерального грунта из песка и глины способствовало увеличению высоты овса на 3,8–9,8 см по сравнению с контролем.

Численные значения урожайности зерна овса изменялись в зависимости от фона минеральных удобрений и дозы внесения в пахотный горизонт торфяно-болотной почвы минеральной добавки из глины и песка. Полученные результаты исследований (табл. 3.24) показали, что наиболее высокая урожайность зерна овса обеспечивается при дозе внесения минеральной добавки из глины 800 т/га.

Существенное увеличение урожайности зерна отмечалось при внесении в торфяную залежь глины или песка. С увеличением дозы внесения глины в 2 раза (с 400 до 800 т/га) урожайность зерна овса в среднем повысилась с 3,01 до 3,15 т/га, или на 5 %. Аналогичная картина – при внесении в торфяную залежь песка. В этом случае урожайность зерна овса в среднем за годы исследований составила 2,78 т/га при дозе песка 400 т/га, 2,85 и 2,91 т/га – соответственно при дозах 600 и 800 т/га.

Урожайность овса на мелкозалежном торфянике при внесении минерального грунта, т/га

№ вар.	2011	2012	2013	Среднее	Отклонение от контроля		Отклонение от фона	
					т/га	%	т/га	%
1	1,82	2,17	2,04	2,01	0	-	-	-
2	2,27	2,65	2,48	2,47	0,46	22,9	0	-
3	2,78	3,16	3,08	3,01	1,00	49,8	0,54	21,9
4	2,91	3,29	3,14	3,11	1,10	54,7	0,64	25,9
5	3,05	3,22	3,18	3,15	1,14	56,7	0,68	27,5
6	2,60	2,93	2,80	2,78	0,77	38,3	0,31	12,6
7	2,65	3,03	2,86	2,85	0,84	41,8	0,38	15,4
8	2,71	3,11	2,89	2,91	0,90	44,8	0,44	17,8
НСР ₀₅	0,07	0,10	0,08	0,12	-	-	-	-

Проведен корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности овса от количества глины и песка на фоне минеральных удобрений. Уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$Y = 2,01 + 0,0028 \cdot X_1 + 0,0009 \cdot X_2 + 0,0005 \cdot X_3; r = 0,98; R^2 = 0,97, \quad (3.3)$$

где Y – урожайность овса в т/га;

X_1 – минеральные удобрения (195 кг/га по д.в.);

X_2 – дозы глины (400; 600 и 800 т/га);

X_3 – дозы песка (400; 600 и 800 т/га).

Таким образом, изложенные выше экспериментально обоснованные приемы повышения плодородия деградированных дерново-подзолистых и торфяных почв показали значительную эффективность в виде улучшения агрофизических и агрохимических свойств почв, микробиологической активности, что, в свою очередь, благоприятно повлияло на урожайность и питательную ценность возделываемых на данных почвах кормовых культур. Разработанные приемы являются также экономически выгодными. Максимальную экономическую эффективность в технологии производства горохо-овсяной смеси на зеленую массу показал вариант с внесением 25 т/га навоза, 75 т/га торфа и микробиологического препарата «Байкал ЭМ-1». Дисконтированный прирост чистого дохода за три года составил 54 430,6 руб./га, а срок окупаемости по данному варианту – 1,4 года. При производстве зерна овса на мелкозалежном торфянике наилучший экономический эффект показал вариант 6 с дозой внесения песка 400 т/га. Дис-

контрированный прирост чистого дохода за три года составил 256,7 руб./га, а срок окупаемости по данному варианту – 3 года.

Литература

1. Анненская Г. Н., Мамай И.И., Цесельчук Ю. Н. Ландшафты Рязанской Мещёры и возможности их освоения. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 278 с.

2. Афанасьев Н.И. Повышение эффективности использования торфяно-болотных почв БССР // Повышение эффективности использования мелиорируемых земель: тез. докл. / Акад. с.-х. наук БССР. – Ровно, 1984. – С. 30–31.

3. Барановский И.Н. Роль органических удобрений в плодородии дерново-подзолистых почв и урожайности сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Тверь, 1995. – 40 с.

4. Белковский В.И., Казаков В.С. Структурная мелиорация торфяно-болотных почв. – М.: Колос, 1973. – 64 с.

5. Белоус Н.М. Воспроизводство плодородия и реабилитация радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – М., 2000. – 51 с.

6. Войтович Н.В. Плодородие почв Нечерноземной зоны и его моделирование. – М.: Колос, 1997. – 388 с.

7. Гвоздецкий Н.А., Жучкова В.К. Физико-географическое районирование Нечерноземного центра. – М.: Изд-во МГУ, 1963. – 450 с.

8. Основы природообустройства: учеб. пособие / А. И. Голованов [и др.]. – М.: Колос, 2001. – 264 с.

9. Доспехов Б.А. Методика проведения полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

10. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР. – М.: Колос, 1981. – 168 с.

11. Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. – М.: Колос, 2000. – 416 с.

12. Кулаковская Т.Н. Агрохимические основы получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур в западной части Нечерноземной зоны // Агрохимия. – 1976. – № 3. – С. 3–13.

13. Лукин С.М., Ермакова Л.И. Влияние длительного применения различных систем удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и агрохимические свойства почвы. Научные основы и технологии воспроизводства плодородия почв и использования органических удобрений // Сб. науч. тр. – Вып. 1. – М.: ВНИПТИОУ, 1998. – С. 41–50.

14. Маслов Б.С., Минаев И.В. Комплексная мелиорация: становление и развитие. – М.: РАСХН, 1998. – С. 234–245.

15. Маслов Б.С., Минаев И.В. Осушительные системы XXI века. – М., 1999. – 80 с.

16. Мерзлая Г.Е., Белоус Н.М., Драганская М.Г. Эффективность возрастающих доз навоза, их сочетаний с минеральными удобрениями, соломой и сидератами при выращивании картофеля на загрязненной радионуклидами песчаной почве // Бюл. ВИУА. – 2001. – № 115. – С. 50–51.
17. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А. А. Ничипорович [и др.]. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 136 с.
18. Панников В.Д. Теория и практика повышения плодородия почв // Вестн. с.-х. науки. – 1981. – № 2. – С. 14–23.
19. Сычев В.Г., Кузнецов А.В. Динамика содержания органического вещества в почвах пашни по турам агрохимического обследования // Агроэкологические функции органического вещества почв и использование органических удобрений и биоресурсов в ландшафтном земледелии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир, 2004. – С. 39–41.
20. Тарановская М.Г. Методы изучения корневых систем. – М.: Сельхозгиз, 1957. – 216 с.
21. Чудо-технология «Байкал ЭМ-1»: Теория и практика применения препарата / сост. Е. В. Халтурин. – Новосибирск: Омега Принт, 2010. – 52 с.
22. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. Present Status and Future Prospects. Proceedings of the Fourth International Workshop on Plant Growth-Promoting Rhizobacteria / Eds. A. Ogoshi, K. Kobayashi, F. Komada, N. Kondo and S. Akino. – Sapporo, 1997.

Глава 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФИТОМЕЛИОРАЦИИ КАК СПОСОБА ДЕТОКСИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ

Основные факторы поглощения тяжелых металлов (ТМ) растениями – это активность конкретного растительного организма к химическим элементам и запасы доступных форм в почве. На поступление ТМ в растения влияет тип почвы, ее физико-химические свойства (гранулометрический состав, реакция почвенного раствора, содержание органических веществ, емкость поглощения катионов). Биофильные микроэлементы поглощаются растениями из почвы более активно, особенно в условиях дефицита их подвижных форм. Токсичные ТМ с низкими кларками и высокой атомной массой характеризуются барьерным поглощением, и их распределение по органам растений приобретает акропетальный характер. Биохимические механизмы избирательности поглощения металлов имеют видовой специфичность. В связи с этим существенных различий в элементном составе растений различных регионов, как правило, не отмечается.

Металлы в растительном организме подразделяются по формам биохимических связей. Н.Д.М. Bowen [1] выделил следующие связи: входящие в несущий скелет (Fe); связанные в мелкие молекулы, в том числе антибиотики и порфирины (Cu, Fe); обладающие каталитическими свойствами, входящие в крупные молекулы белковой природы (Cu, Zn, Ni, Mn); фиксированные в больших молекулах, отвечающие за накопление, перенос и еще неизвестные функции (Cd, Cu, Zn, Ni, Fe, Mn); связанные с органеллами (Cu, Fe, Mn, Zn). Медь и цинк являются, таким образом, эссенциальными микроэлементами, выполняющими основные биохимические функции, тогда как Pb и Cd не играют значительной роли. При этом элементы-биофилы (Zn и Cu) – активные участники многих биологических циклов. В растительных клетках цинк концентрируется в ядре и митохондриях [2]. Преимущественное накопление Cu и Zn наблюдается в генеративных и запасающих органах [3]. Как утверждают авторы исследований [4], поглощение ТМ специфично для определенных систематических групп растений в сходных почвенно-геохимических условиях. Так, гречиха, подсолнечник максимально концентрировали Zn, кормовая свекла (особенно ботва) – Cd, а также подсолнечник.

Минимальную интенсивность накопления всех ТМ проявили злаки. При этом эссенциальные микроэлементы преимущественно накапливались в генеративных органах. Накопление Zn в соотношении «зерно : солома» превышает 3 раза, тогда как проникновение токсикантов (Pb и Cd) в зерно блокируется. Некоторые исследователи [5, 6] на опытах развитых стран и своих работ утверждают, что очистку почв загрязненных тяжелыми металлами можно вести с помощью растений (фитоэкстракция).

Итак, различные растения в значительной степени отличаются по способности извлекать из почвы ТМ. Устойчивость культур к одному элементу не распространяется на другой, поэтому определенный интерес представляют биологические способы декомпенсации загрязненных почв. Этот способ заключается в выращивании в течение определенного периода на загрязненных участках специально подобранных видов растений для извлечения из почвы ТМ корневой системой, максимальной фиксации их в надземной фитомассе и последующей ее уборке и утилизации. Аккумуляция техногенных металлов в биомассе растений способствует выведению их из миграции в ландшафте и снижению отрицательных последствий техногенеза. При этом более активно депонируется Cd вследствие высокой доступности растениям.

Путь выбора растений для этих целей возможен на основе полевых исследований генетических особенностей и ответных реакций на воздействие ТМ на разных стадиях их развития. Выбор культур, видов растений, устойчивых к загрязнению, является довольно простым способом декомпенсации почв, что оправдывает целенаправленность проведения исследований по заданной тематике.

4.1. Распределение и концентрирование тяжелых металлов в различных культурах

Основные реакции растительных организмов, возникающие в результате токсического воздействия ТМ, – это изменение проницаемости клеточных мембран, конкуренция за жизненно необходимые метаболиты, замещение жизненно важных ионов, сходство с фосфатными группами и активными центрами АТФ и АДФ. Почти все растения, в какой-либо степени способны защи-

щаться от токсического действия поллютантов. В.Б. Ильин [7] выделил следующие механизмы устойчивости растений к избытку ТМ в почвенном растворе: задержка их избыточного количества в корнях или за пределами метаболически важных органов, создание обменных реакций, менее чувствительных к токсичности металлов, перевод избыточных ионов ТМ в инертные формы.

Вопрос очистки загрязненных ТМ сельскохозяйственных угодий является сложным и дорогостоящим мероприятием. Растения по-разному адаптированы к экстремальным геохимическим условиям природной среды и обладают разной пороговой чувствительностью к ТМ.

Устойчивость некоторых растений к повышенному содержанию элементов и их способность накапливать высокое количество токсикантов опасны с точки зрения поступления в пищевые цепи загрязняющих веществ, но могут быть использованы в целях фитомелиорации. Такие растения обладают целым рядом характерных биологических и атомно-морфологических признаков, которые делают растения менее зависимыми от внешних воздействий [8]. Механизмы устойчивости растений к металлам мало изучены. Для разработки приемов детоксикации почв, как отмечает Л.М. Бурлакова [9], на основе фитомелиорации необходимо установить резистентность растений по отношению к токсичным металлам, подобрать культуры, способные выносить большие количества токсикантов.

Перед закладкой вегетационных исследований было изучено распределение Pb, Cd, Zn, Cu в профиле дерново-подзолистой почвы стационара и ее агрохимические показатели корнеобитаемого слоя. По своим агрохимическим показателям данная почва характеризуется средним содержанием подвижного фосфора (12,2 мг/100 г) и обменного калия (10,3 мг/100 г). Кислотность почвенного раствора характеризовалась как близкая к нейтральной (pH_{KCl} 5,8), при этом небольшое количество обменных оснований (3,1 мг-экв/100 г) и степень насыщенности 62,6%. Содержание гумуса низкое – 2,2 %.

В таблице 4.1 представлены количественные показатели Pb, Cd, Zn, Cu в профиле исследуемой почвы. Содержание валовых форм Pb, Cd, Zn вниз по профилю снижается, а Cu – мало изменяется. Ацетатно-аммонийные формы Cd и Pb по слоям почвы

определяли в пределе точности прибора. В профиле почвы отмечаются небольшие колебания Zn и Cu по слоям, но наблюдалось снижение концентраций их к материнской породе.

Таблица 4.1

Распределение валовых и подвижных форм тяжелых металлов в профиле дерново-подзолистой супесчаной почвы стационара

Глубина, см	Валовые, мг/кг				Подвижные, мг/кг				Степень подвижности, %			
	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu
0–10	5,7	0,07	16	14,5	0,3	0,03	1,24	1,4	5,3	43	7,8	9,7
10–20	7,3	0,08	18	14,6	0,3	0,03	1,42	1,4	4,1	38	7,9	9,6
20–40	4,2	0,07	19	11,0	0,3	0,03	0,94	0,9	7,1	43	4,9	8,2
40–60	4,1	0,05	14	15,4	0,3	0,03	0,98	0,7	7,3	60	7,0	4,5
60–80	4,1	0,04	10	13,8	0,3	0,03	0,39	1,0	7,3	75	3,9	7,2
80–100	4,4	0,05	8	15,5	0,3	0,03	0,44	1,0	6,8	60	5,5	6,5
100–120	2,1	0,05	7	15,7	0,3	0,03	0,52	1,2	14,3	60	7,4	7,6
Кларк по А.П. Виноградову	10	0,5	50	20	–	–	–	–	–	–	–	–
Региональный фон	12	0,18	35	27	–	–	–	–	–	–	–	–

В подготовительный период для закладки вегетационного опыта в почве было определено валовое содержание исследуемых элементов и выполнено шестикратное загрязнение. Согласно схеме опыта (табл. 4.2) были внесены растворимые соли $CdSO_4$, $Pb(NO_3)_2$, $ZnSO_4$, $CuSO_4$ в необходимых количествах. Вегетационные опыты по изучению характера накопления ТМ культурами заложены в испарителях ГГИ-500-50 (площадь 500 см²) [10].

Таблица 4.2

Схема вегетационных опытов накопления ТМ различными культурами при одинаковом уровне загрязнения ими почвы

Элементы	Контроль (фон)	6 фонов
Cd	0,1	0,6
Pb	6	36
Zn	16	96
Cu	15	90

В качестве экспериментальных культур были выбраны три вида: люпин узколистный, овес и клевер красный. Для оптималь-

ного питания на дерново-подзолистой почве применялись удобрения из расчета для люпина узколистного – N60P90K100, для клевера – N30P80K80, для овса – N120P100K90.

Исходная дерново-подзолистая почва формировала зерно овса с концентрацией Cd 0,15 мг/кг (временные ПДК – 0,1 мг/кг) (табл. 4.3). Накопление Pb, Zn, Cu было в пределах санитарно-гигиенических концентраций.

В результате химического загрязнения почвы увеличивается поглощение металлов растением, транслокация из корней в надземную часть и аккумуляция. В конце вегетационного периода химическое загрязнение привело к повышению концентрирования Cd, Pb, Zn в зерне, которое отмечалось выше предельно допустимых их концентраций (временные ПДК 0,1; 0,5; 50 соответственно): 2,82, 1,06 и 119 мг/кг соответственно. При этом содержание меди было меньше ПДК – 6,8 мг/кг (временные ПДК – 10 мг/кг). Поглощение ТМ растением овса вследствие загрязнения увеличилось во много раз. В частности, Zn поглощался в 30 раз больше в сравнении с исходной почвой, Cd – 11 раз, Cu – 6 раз, Pb – 5 раз.

Интенсивность поглощения ТМ зависела от вида сельскохозяйственной культуры, ее частей. Расчеты выноса металлов полевыми культурами показывают, что в зерне яровой пшеницы сосредоточивалась преобладающая часть Zn – 52 % и Cd – 50 % от размера общего их выноса биологическим урожаем. У проса этот показатель составлял в зависимости от металла 11–75 %. Гречиха аккумулировала в зерне значительно меньше ТМ, пределы колебаний составляли 7–35%. Высокой степенью накопления их обладали солома и особенно корни.

В наших исследованиях в условиях вегетационных опытов (табл. 4.3) установлено, что на незагрязненной почве в зерне овса накапливалось 24 % металлов от суммы поглощенных элементов. На искусственно загрязненной почве при питании растений произошло значительное блокирование поступления ТМ в генеративные органы овса, поэтому в зерне аккумулировалось 21,5 % от суммы их выноса урожаем.

Распределение ТМ в структуре их поглощения солома / корни составило на незагрязненной почве 36,3–39,7%, а в варианте загрязнения – 24,7–53,8 %. Такое перераспределение ТМ в структуре урожая имеет положительное значение для определения их участия в рационе человека и сельскохозяйственных животных.

Таблица 4.3

**Влияние загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы
на накопление тяжелых металлов в растениях, мг/кг**

Части растений	Варианты	Cd		Pb		Zn		Cu		Распределение ТМ по частям растений					
		2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	среднее	%		
Овес															
Зерно	1	0,11	0,19	0,15	0,28	0,24	0,26	37,0	47,3	42,2	2,81	1,98	2,40	45,01	24,0
	2	2,98	2,66	2,82	0,97	1,15	1,06	114,1	123,9	119,0	6,04	7,55	6,80	129,68	21,5
Солома	1	1,20	1,00	1,10	0,63	0,63	0,63	68,3	58,3	63,3	3,48	2,46	2,97	68,00	36,3
	2	13,06	8,08	10,57	1,91	1,53	1,72	120,9	153,8	137,4	11,25	11,56	11,41	148,81	24,7
Корни	1	0,90	0,61	0,76	2,47	0,41	1,44	77,8	58,2	68,0	4,78	3,55	4,17	74,37	39,7
	2	13,47	5,80	9,63	9,72	8,75	9,24	331,4	202,9	267,2	59,72	18,00	38,86	324,93	53,8
Клевер красный															
Сено	1	0,20	0,60	0,40	2,23	0,98	1,61	47	43	45	5,7	4,0	4,9	51,54	–
	2	0,36	1,43	0,90	12,53	2,84	7,69	70	50	60	7,9	8,0	8,0	76,63	–
Люцерна узколистный															
Зерно	1		0,202			1,39			56,2			4,49		62,3	34,1
	2		0,284			1,61			68,9			9,87		80,7	27,5
Створки бобов	1		0,255			1,68			53,3			3,21		58,4	31,4
	2		0,412			2,98			75,1			10,15		88,6	30,2
Стебель + листья	1		0,432			2,49			55,1			4,09		62,1	34,5
	2		0,701			3,01			110,8			9,29		123,8	42,3

Примечание: 1 – исходная почва, 2 – загрязненная.

Известен ряд биологических барьеров: почва – корень, корень – стебель, стебель – лист, стебель – репродуктивные органы, влияющие на характер поступления ионов в растения и их трансформации в организме [11].

Распределение элементов, конечно, зависит от вида растений и может меняться от условий их выращивания. Так, зерно люпина узколистного, сформированное на незагрязненной дерново-подзолистой супесчаной почве, аккумулировало значительное количество изучаемых металлов: Cd – 0,202 мг/кг, Pb – 1,39, Zn – 56,2, Cu – 4,49 мг/кг. В других частях люпина узколистного – створки бобов, стебли с листьями – происходит повышение накопления только Cd и Pb в 1,2–2,1 раза, а поступление микроэлементов Zn и Cu имеет некоторую тенденцию к снижению. Это говорит о том, что биофильные элементы активно используются растениями в условиях слабой обеспеченности дерново-подзолистой почвы подвижными соединениями Zn и Cu, а на пути поступления в растения токсичных элементов Cd и Pb отмечаются биобарьеры, и их распределение по органам растения подчинено жизненно важным функциям. Шестикратное увеличение содержания изучаемых элементов в почве привело к повышению аккумуляции всех металлов в люпине узколистном: Cd на 40–60 %, Pb – 21–77, Zn – 23–101, Cu – на 107–216 % в зависимости от частей растений. Наиболее интенсивно в биозащите генеративного органа (зерно) от ТМ происходит существенная аккумуляция их вегетативными органами (стебель + листья) на загрязненной почве. Отмечено повышение концентрирования всех изучаемых ТМ в два раза. Створки бобов, защищая зерно, накапливали металлов в 1,5 раза больше по сравнению с исходной почвой.

Клевер красный в среднем за два укоса (как на природной дерново-подзолистой супесчаной почве, так и на искусственно загрязненной) формировал надземную массу (сено) с концентрацией Cd выше максимально допустимого уровня (МДУ). Загрязнение почвы увеличивало содержание Cd, Pb, Zn в сене, но санитарно-гигиенические показатели ее оставались в пределах МДУ.

Таким образом, ТМ являются опасными загрязнителями природных экосистем, негативные последствия избыточного поступления которых в педосферу неуклонно растут. Вместе с тем имеется неполнота информации о биологических способах деток-

сикации загрязненных тяжелыми металлами почв. При поглощении повышенных количеств ТМ их аккумуляция в фитомассе растений зависит от вида культур. Содержание ТМ и в отдельных частях и в растениях в целом непостоянно и изменяется вследствие неодинакового потребления их в разные стадии своего развития. Корни и вегетативная масса аккумулируют основную часть поглощенных тяжелых металлов.

4.2. Влияние многолетнего выращивания люпина узколистного в условиях искусственного загрязнения тяжелыми металлами дерново-подзолистой почвы

Известно, что избыток тяжелых металлов в почве приводит к нарушению нормального процесса питания. Аномально повышенные концентрации ТМ в почвенном растворе способствуют дезорганизации процессов поглощения и транспорта химических элементов. Все это ведет к снижению урожая сельскохозяйственных культур. Максимальная фитотоксичность цинка, свинца и кадмия отмечается на дерново-подзолистой слабоокультуренной почве [12].

Исследования проводили на дерново-подзолистой супесчаной почве. Как ранее было указано, данные почвы имеют ряд отрицательных свойств: небольшое содержание гумуса, легкий гранулометрический состав, рыхло связанную структуру. По своим агрохимическим показателям она является среднекислой, среднеобеспеченной подвижным фосфором и обменным калием по А.Г. Кирсанову.

Опыт заложен в 3-кратной повторности, площадь учетной делянки 1 x 2 м. В условиях полевого мелкоделяночного опыта, на основе исходного содержания Pb, Cd, Zn, Cu в почвообразующей породе дерново-подзолистой супесчаной почвы моделировалось загрязнение (табл. 4.4) внесением растворимых солей: $CdSO_4$, $Pb(NO_3)_2$, $ZnSO_4$, $CuSO_4$.

Для оценки фитомелиорационного эффекта использовался люпин узколистный, раннеспелый сорт «Гелена» с редуцированным колосовидным типом ветвления, селекции Белорусской сельскохозяйственной академии. Люпин для Нечерноземной зоны используется и подходит в качестве сидератов. Зеленые удобрения на кислых легких почвах способны окультуривать их. Ре-

комендуется в качестве сидератов выращивать люпин синий узколистный (*Lupinus angustifolios*) и люпин желтый (*Lupinus Luteus*). Эта высокоурожайная культура способна давать урожай зеленой массы свыше 40 т/га [13]. Измельченную массу возможно запахивать на этом участке или перевозить на другие поля.

Таблица 4.4

Схема закладки мелкоделяночного опыта по оценке фитомелиорации как способа декомпенсации почв, загрязненных тяжелыми металлами, мг/кг

Элементы	Варианты опыта			
	Контроль (фон)	3 фона	4 фона	5 фонов
Cd	0,1	0,3	0,4	0,5
Pb	6	18	24	30
Zn	16	48	64	80
Cu	15	45	60	75

Люпин узколистный, развиваясь на загрязненной почве, поглощает значительные количества ТМ и в то же время вследствие своих биохимических свойств способен повышать плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы. Известно, что окультуренные почвы в значительной степени формируют экологически безопасный урожай. Сама надземная зеленая масса может быть использована как сидерат на участках, где она не нанесет вреда сельскохозяйственным угодьям и растениям, которые будут на них выращиваться.

Люпин обладает высокой азотфиксирующей способностью и большим накоплением органического вещества в почве. Он накапливает 180–200 кг азота на 1 га, что равноценно 36–40 т навоза. Процесс разложения зеленого удобрения в почве протекает значительно быстрее, чем других органических удобрений, богатых клетчаткой [13].

Люпин – травянистое растение. Корневая система стержневая. Стебель прямостоячий, ребристый, опушен, высотой до 1 м. Листья сложные, дланевидные, состоящие из 5–11 листочков. Соцветие – верхушечная кисть на главном стебле и боковых листьях, различной формы и величины (до 40 см). Цветы у люпина синего цвета, самоопыляющиеся. Бобы – кожистые, более или менее сплюснутые, опушенные. При созревании растрескиваются, и семена разбрасываются, а створки бобов спирально закру-

чиваются. Вегетационный период длится от 120 до 180 дней [13].

Формирование хозяйственного урожая люпина – сложный процесс. Это связано со слабой возможностью регулирования числа плодоносящих стеблей, с постоянной и длительной дифференциацией генеративных органов и существенной зависимостью их развития от внешних условий. Густота стеблестоя, в первую очередь, обеспечивает максимальную продуктивность люпина. Высевали семена люпина узколистного 1,4 млн шт./га. Доза семян на делянку – 45 г. Она разделялась на семь рядков в делянке. Семена раскладывали равномерно на глубину 5 см, вручную засыпали, почву уплотняли.

Люпин узколистный в условиях мелкоделяночного опыта не проявил полностью свои биологические свойства. Высота растения на контрольном варианте была небольшая, в среднем 71,7 см. На вариантах с загрязнением 3, 4, 5 фонов этот показатель практически не изменился. Все изменения в пределах НСР_{0,95}. Кушение люпина на естественной почве наступило в среднем с высоты 16,7 см от корневой шейки. Существенное удлинение стебля без пасынков отмечалось на всех загрязненных вариантах. Качество загрязнения не влияло на высоту начала кушения. Все изменения – в пределах точности исследований. В то же время максимальная кустистость (количество пасынков) отмечалась на исходной почве. Загрязнение снизило образование пасынков на 37–77 % (прилож. 33), что значительно повлияло на продуктивность культуры.

Учет урожая люпина узколистного проводили в фазу молочно-восковой спелости семян. Срезанная масса люпина, пока еще зеленая, разделялась на учетные органы растений: бобы и вегетативная масса. Бобы сушились так, чтобы при растрескивании их семена не рассыпались (применялись марлевые мешочки), что позволяло вести точный учет.

Анализ продуктивности люпина в трехлетних исследованиях показал, что загрязнение почвы до уровней трех, четырех, пяти фонов привело к фитотоксичности посевов. В среднем за три года наблюдалось снижение урожаев на 15,4–21,5 ц/га, или на 21,3–30,6 %. В первый-второй годы исследований наблюдалась явная фитотоксичность, так как сбор учетных частей растения (зерно, створки бобов, стебли + листья) существенно снижался по сравнению с контролем на 13,2–39,5 ц/га (прилож. 34), или на 20,8–52,9 %. Урожай как всей надземной массы, так и отдельных учет-

ных частей в 2003 г. был значительно выше, чем в 2004 г. Сказались метеорологические условия. Более влажным был 2003 г. В летнее время 2005 г. осадков выпало 24–52 % от среднемноголетних, и посевы люпина орошали водой, поэтому сбор сухого вещества на фоновом участке был на уровне 2003 г. Сбор бобов люпина на всех вариантах оказался практически одинаковым, изменения были в пределах точности исследований. Следовательно, в 2005 г. уже не наблюдался фитотоксический эффект.

Внесение тяжелых металлов трехразовой концентрацией не повлияло на выход вегетативной массы с гектара, а четырех-, пятиразовое загрязнение несколько увеличили эти показатели. Положительный эффект действия металлов, находящихся в избытке, с трудом поддается объяснению. Вероятно, это результат сложных взаимоотношений металлов (антагонизм и синергизм) с другими необходимыми минеральными элементами, которые способны изменять – ослаблять и усиливать реакцию растений на токсическое действие ТМ. Можно предположить, что монокультура – люпин узколистный, постоянно адаптируясь к биохимическим процессам в почве, способствует регенерации техногенно загрязненных почв. В то же время в начале исследований растворимые соли металлов, постоянно взаимодействуя с органическими, минеральными веществами почвы, удобрений, с ризосферой растений, переводят токсичные металлы в труднодоступные соединения, а растение лучше может использовать Zn и Cu, которые выполняют важные физиологические функции.

Таблица 4.5

Суммарная продуктивность люпина узколистного в условиях загрязнения дерново-подзолистой супесчаной почвы Zn, Cu, Pb, Cd, ц/га сухого вещества

Варианты опыта	В среднем за 2003–2005 гг.						Соотношения в структуре растения
	зерно	створки бобов	стебли + листья	всего	отклонения от фона		
					ц/га	%	
Контроль (фон)	20,2	12,7	37,4	70,4	–	–	1:0,62:1,68
3 фона	15,4	9,3	21,8	55,5	-14,9	-21	1:0,60:1,42
4 фона	13,3	7,8	27,8	48,9	-21,5	-31	1:0,59:2,09
5 фонов	14,3	8,6	31,4	54,3	-16,1	-23	1:0,60:2,20

В среднем за три года исследований в результате различного загрязнения дерново-подзолистой почвы наблюдалась ее фитотоксичность. Снижение сбора зерна составило 24–34 %, створок бобов – 24–38 %, стеблей с листьями – 16–42 % по сравнению с контрольным вариантом. Продуктивность за три года возделывания люпина узколистного всех загрязненных вариантов слабо различалась.

Следовательно, монокультура люпина узколистного на дерново-подзолистой супесчаной почве может быть определенным звеном детоксикации загрязненных тяжелыми металлами территорий при условии контроля экологических свойств почв и растений.

4.3. Оценка влияния загрязнения тяжелыми металлами почвы на ее токсичные свойства и экологические показатели

Загрязнение почв сельскохозяйственного назначения тяжелыми металлами часто сопровождается перераспределением их форм нахождения, ухудшением микробиологической активности и токсичности почвы, накоплением ТМ в продукции.

Степень отрицательного влияния ТМ на растения определяется не столько валовым их количеством, сколько концентрацией мобильных соединений, находящихся в почве. Подвижные формы элементов определяют доступность их для растений. Накопление и трансформация ТМ обусловлены типом почв, формами и количеством гумусовых веществ, сорбционными процессами на поверхности твердой фазы почвы, а также свойствами самих металлов. Содержание в почве подвижных форм тяжелых металлов – важнейший показатель, характеризующий санитарно-гигиеническую обстановку, миграционную способность металла.

Для экстракции подвижных форм ТМ используются различные химические соединения, обладающие неодинаковой извлекающей способностью. Наиболее распространенным реагентом является ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8. Считается, что этот экстрагент моделирует воздействие корневых систем растений, извлекает из почвы именно те соединения, которые поглощаются растениями или потенциально могут быть использованы ими. Он мало изменяет реакцию среды после взаимодействия с почвой.

На подвижность ТМ и их переход в почвенный раствор влияют уровень плодородия, тип почв. Окультуренность почв уменьшала подвижность ТМ. В дерново-подзолистой слабо окультуренной почве содержание водорастворимых форм Zn, Pb и Cd было на 20–35 % выше, чем на среднеокультуренной, и в 1,5–2 раза выше, чем в типичном черноземе [14].

В полевом опыте с узколиственным люпином загрязнение проведено в 2003 г. Н.А. Черных с соавторами [12] утверждает, что в загрязненной ТМ почве со временем происходит перераспределение различных форм. Так, через год после загрязнения наблюдалось резкое уменьшение концентрации их подвижных соединений, через два года – некоторое повышение. Дальнейшая трансформация привела к установлению равновесия между различными формами ТМ в почве.

При поделяночном определении в 2005 г. Pb, Cd, Zn, Cu, переходящих в буферный раствор $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, выявлено, что концентрация данных форм металлов повышалась под влиянием степени загрязнения почвы ТМ. В контрольном варианте в среднем обнаружено Pb 0,52 мг/кг, Cd – 0,060, Zn – 2,35 и Cu – 2,54 мг/кг (табл. 4.6, прилож. 35). В то же время под влиянием искусственных загрязнений, соответствующих 3, 4, 5 фонам, концентрация подвижного Pb возрастала в 7–18 раз, Cd – 4–5, Zn – 7–12, Cu – 11–17 раз. Степень их подвижности повышалась от первого изучаемого уровня загрязнения: Pb с 8,7 до 19,4 %, Cd с 60,0 до 71,7, Zn с 14,7 до 33,6 и Cu с 15,9 до 59,3 %.

Таблица 4.6

Влияние загрязнения дерново-подзолистой почвы тяжелыми металлами на накопление подвижных форм (экстрагент ацетатно-аммонийный буфер pH 4,8)

Варианты загрязнения	PB		CD		ZN		CU	
	мг/кг	подвижность, %	мг/кг	подвижность, %	мг/кг	подвижность, %	мг/кг	подвижность, %
Контроль (фон)	0,52	8,7	0,060	60,0	2,35	14,7	2,54	15,9
3 фона	3,50	19,4	0,215	71,7	16,11	33,6	26,70	59,3
4 фона	6,41	26,7	0,307	76,8	22,92	35,8	34,35	57,3
5 фонов	9,10	30,3	0,304	60,8	28,25	35,8	39,66	52,9
НСП _{0,95}	2,60	–	0,047	–	2,04	–	12,22	–

Дальнейшее загрязнение почвы ТМ не привело к изменению подвижности Zn, а степень подвижности Cu и Cd снижалась, и только активность Pb повышалась. При этом во всех вариантах абсолютное количество Zn, Cu, Pb увеличивалось с 16,11 до 28,25 мг/кг, с 26,70 до 39,66 и с 3,5 до 9,1 мг/кг соответственно. Но содержание Cd, экстрагируемого ацетатно-аммонийным буфером, увеличивалось на вариантах загрязнения 3, 4 фонов.

Степень подвижности металлов свидетельствует об их мобильности в почве и обусловлена химическими свойствами самих металлов. При внесении солей ТМ в почву они закрепляются органическим веществом, гидроксидами железа, марганца и глинистыми минералами. Со временем произошло упрочение связи ТМ с ППК, что выразилось в стабилизации степени подвижности металлов. Наиболее мобильным элементом на третий год последнего действия остался Cd.

Химический состав растений отражает элементный состав почвенной среды. Между концентрацией металлов в почвенных растворах и их поглощением корнями растений, как правило, существует прямая линейная зависимость. Несмотря на положительную функциональную зависимость между концентрацией ТМ в почвенном растворе и поглощением их растениями количественное выражение этой закономерности для разных металлов существенно различается. Видовые особенности культур определяют распределение металлов по органам. Корни растений до определенного предела обеспечивают защиту надземных органов. Следующий биологический барьер на пути токсиканта – стебель и листья, которые выполняют защитную функцию, и тем самым растение ограничивает его поступление в репродуктивные органы.

В условиях микрополевого опыта возрастающая концентрация Pb, Cd, Zn, Cu в почве привела к определенному перераспределению элементов в структуре фитомассы люпина (табл. 4.7, прилож. 36).

Считается, что бобовые культуры значительно больше концентрируют такие токсиканты, как Pb и Cd. На токсичность ТМ большее влияние оказывают уровень реакции среды, емкость катионного обмена, содержание органического вещества и другие. Эти показатели свойств дерново-подзолистой почвы характеризуют ее недостаточно способной противостоять фитотоксичности.

Таблица 4.7

Среднее содержание тяжелых металлов в структуре урожая люпина узколистного (2003–2005 гг.), мг/кг

Варианты опыта	Pb			Cd		
	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья
Контроль (фон)	1,03	1,47	1,96	0,14	0,22	0,25
3 фона	1,22	1,67	6,03	0,19	0,32	1,14
4 фона	1,28	1,58	11,77	0,21	0,34	2,46
5 фонов	1,48	1,43	8,53	0,23	0,22	2,05
НСР _{0,95}	0,20	0,19	2,49	0,05	0,04	0,28
Варианты опыта	Zn			Cu		
	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья
Контроль (фон)	38,0	36,4	35,1	4,29	8,46	6,9
3 фона	42,3	69,4	176,2	5,30	8,72	89,1
4 фона	50,3	75,1	218,4	6,83	9,04	108,1
5 фонов	42,7	47,1	235,7	7,50	4,90	97,4
НСР _{0,95}	6,4	20,5	22,8	1,28	1,52	28,5

Обращает на себя внимание то, что соотношения концентраций изучаемых элементов между отдельными частями растений, выращенных на исходной почве, довольно близки. При полиморфизном загрязнении почвы отмечается явное отклонение в распределении ТМ между разными частями люпина узколистного. Так, концентрация Zn, Cu, Pb, Cd в зерне на загрязненных вариантах выросла максимально в 1,8 раза. Также сравнительно небольшие изменения наблюдались в соотношении элементов створок бобов. Основное количество накопленных металлов (от 61 до 87 %) в растении аккумулировалось в стеблях и листьях. Изложенное свидетельствует о механизме барьерного поглощения. Однако из-за высокой потребности люпина в биофильном Zn он существенно меньше концентрировался в стеблях и листьях (61–72 %) по сравнению с Cu, Pb, Cd.

Итак, основная продукция, выращенная на исходной почве, по накоплению биогенных элементов Zn, Cu отвечает требованиям ПДК, а токсичные металлы Pb, Cd содержатся в количестве, превышающем показатели санитарно-гигиенических норм в про-

довольственным сырье и пищевых продуктах, но ниже временных МДУ в кормах. При загрязнении почвы ТМ концентрация Zn и Cu в зерне находится в пределах ПДК, Pb и Cd – выше.

Как известно, сбалансированность химического состава живых организмов – основное условие их нормального роста и развития. При поглощении люпином металлов происходит их взаимодействие с элементами почвенного раствора. Между несбалансированными элементами (тем более в искусственно загрязненной ТМ почве) почвы возникают явления антагонизма.

Ю.А. Мажайский с соавторами [4] отмечают антагонизм поглощения Cu и Pb (для клевера) ($r = -0,89$), Zn и Cd – ($r = -0,70$), имеется тенденция антагонизма Zn и Pb ($r = -0,42$) и наоборот, синергизм между Pb и Cd – ($r = +0,49$). Взаимосвязи между N, P, K, Zn, Cu, Pb, Cd при поступлении и усвоении их растениями Ю.И. Ермохин с соавторами [15] объясняют физиологической потребностью растительного организма на разных стадиях онтогенеза, наличием и соотношением элементов в почве.

Побочная продукция люпина узколистного: створки бобов, стебли + листья (особенно стебли + листья) накапливали ТМ в количествах, превышающих МДУ для кормов. Так, количество Zn в побочной продукции концентрировалось от 47,1 мг/кг до 235,7 мг/кг, в стеблях + листьях накапливалось Pb от 6,03 мг/кг до 11,77 мг/кг, Cd – от 1,14 до 2,05; Cu – от 89,1 до 108,1 мг/кг. Большое количество токсикантов изменяет проницаемость клеточных мембран, происходят реакции тиольных групп с катионами Pb, Cd, возникает конкуренция с жизненно важными метаболитами и происходит загрязнение продукции.

В сельскохозяйственном производстве особое место в технологии возделывания сельскохозяйственных культур занимает система борьбы с сорной растительностью. Сорняки являются конкурентами в питании и влагообеспеченности культурных растений. Но в последнее время появилось мнение, что они могут исполнять роль фитопротектора культурных растений.

Там, где произрастает и сорная растительность, отмечается перераспределение поллютантов между сельскохозяйственной культурой и сорняками. Интенсивность накопления ТМ у одуванчика выше, чем у подсолнечника. А такие сообщества сорняков, как жабрей, бодяк полевой, подмаренник цепкий, сурепица, ярутка, дикая редька, аккумулируют немного более интенсивно,

чем зерновые злаковые культуры; василек полевой занимает промежуточное значение [4]. На загрязненной почве в присутствии сорной растительности загрязнение овса и гороха Cd практически не наблюдалось.

Растения по-разному адаптированы к экстремальным геохимическим условиям природной среды и обладают разной пороговой чувствительностью к металлам. Основными факторами, определяющими содержание элемента в растении, признаны: геохимические условия (содержание элемента в почве, его усвояемых форм для растений, эволюция и адаптация растения к данным условиям геохимической среды) и вид растения (фаза развития, особенности распределения элемента по органам растения). Кроме того, указывается на то, что среди цветковых растений различия в накоплении тяжелых металлов менее выражены, но по возрастанию металлоаккумуляции они образуют следующий ряд: травы > кустарники > деревья. В надземной массе трав концентрируется больше Fe, V, Co, Ni, Zn, Pb, Rb, чем в листьях деревьев и кустарников.

В исследованиях, проведенных в условиях полевого опыта, наряду с люпином узколистным произрастали сорняки: тимopheвка луговая (*Phleum pratense*), луговик дернистый (*Deschampsia caespitosa*), марь белая (*Chenopodium album* L) [17]. Меньше всего на делянках произрастало мари белой – от 4 до 9 шт./м², а луговик дернистый и тимopheвка луговая занимали в травостое значительное место. Количество этих сорняков колебалось от 7 до 21 шт./м² каждого вида.

Полученные нами аналитические данные позволили установить определенные различия в металлоаккумуляции изучаемыми видами растений. Количественные различия в накоплении конкретных тяжелых металлов растениями в большинстве случаев достоверны. Анализ содержания изучаемых ТМ в надземной фитомассе травянистых растений позволил выделить луговик дернистый как вид с высокой металлоаккумуляционной способностью на загрязненной почве по отношению к фону. Так, в контрольном варианте накапливалось 72,1 мг/кг абсолютно сухого вещества. При загрязнении 3, 4, 5 фонов аккумуляция Zn + Cu + Pb + Cd возрастала в 1,4–4,6 раза.

Активность поглощения ТМ у тимopheвки луговой значительно меньше. В то же время марь белая в условиях химическо-

го загрязнения, вероятно, адаптирована к экстремальным условиям и обладает высоким механизмом барьерного поглощения металлов. Суммарное количество накопленных изучаемых металлов имело тенденцию к снижению. Вероятно, марь белая обладает высокой способностью потребления цинка. Из трех видов растений марь белая поглощала цинк в 2–3 раза больше других сорняков, но на загрязненных вариантах поглощение Zn снижалось. Из исследованных видов растений тимopheевка луговая более интенсивно поглощала кадмий, накапливая его при химическом загрязнении почвы.

Таблица 4.8

Влияние тяжелых металлов на накопление Zn, Cu, Pb, Cd в сорной растительности, мг/кг абсолютно сухой массы

Варианты опыта	Тимopheевка луговая			
	Pb	Cd	Zn	Cu
Контроль (фон)	1,07	0,273	55,1	2,50
3 фона	1,84	0,321	66,0	4,10
4 фона	2,24	0,362	111,3	5,67
5 фонов	3,55	0,425	143,0	6,75
НСР _{0,95}	0,32	0,041	7,63	0,45
Варианты опыта	Луговик дернистый			
	Pb	Cd	Zn	Cu
Контроль (фон)	2,23	0,189	66,7	2,98
3 фона	3,31	0,358	90,2	7,04
4 фона	2,47	0,567	280,1	16,27
5 фонов	2,70	0,590	312,2	16,39
НСР _{0,95}	0,32	0,071	20,9	2,05
Варианты опыта	Марь белая			
	Pb	Cd	Zn	Cu
Контроль (фон)	2,21	0,143	145,9	8,09
3 фона	2,71	0,168	128,5	9,19
4 фона	2,83	0,212	120,0	10,29
5 фонов	3,07	0,260	130,6	10,64
НСР _{0,95}	0,20	0,047	18,0	0,45

Итак, каждый вид растений избирательно поглощает вполне определенное количество и в определенном соотношении те или иные элементы, отражая геохимическую ситуацию. Поэтому при определенном целенаправленном подборе растений на почвах, загрязненных токсикантами, открывается возможность фитопро-

текторного способа выращивания растениеводческой продукции. При выращивании растений разных видов на химически загрязненной почве степень аккумуляции экологически опасных элементов растительной массой разная.

Как известно, тяжелые металлы в почве в повышенных концентрациях формируют фитотоксичность для растений. Фитотоксины сохраняют активность в почве и вызывают угнетение растений, стимулируя смену многолетнего монофитоценоза. Максимальная фитотоксичность отмечалась при высоких уровнях загрязнения. Но фитотоксичность ТМ определяется не только их химическими соединениями в почве, но и рядом почвенно-биологических факторов, в том числе деятельностью микрофлоры. При загрязнении ТМ почв изменяются видовой состав и активность почвенной микробиоты. Некоторые исследователи отмечают снижение численности почвенных микроорганизмов [16], но существуют данные, которые показывают увеличение их количества [17].

Для интегральной оценки токсичности почвы проведено исследование ее биологической активности. Биологическая активность – это процесс, ухудшающий условия качества жизнедеятельности растений и оказывающий влияние на состав микробного сообщества [18]. В биологические методы определения активности почвы вошли: 1) определение суммарной токсичности почвы; 2) определение интенсивности разложения целлюлозы.

Изучение токсичности почвы методом тест-культуры (редис) показали, что дерново-подзолистая мало гумусированная почва по своим природным свойствам несколько отрицательно влияет на прорастание семян (табл. 4.9). Возможно, вследствие того, что поглощение химических элементов растениями в значительной степени регулируется организмом при повышении их концентрации, процессы регуляции в значительной степени подавляются. В литературе [19] отмечается, что в целом растения более устойчивы к повышенным, чем к пониженным концентрациям ТМ.

Итак, начальное загрязнение дерново-подзолистой почвы группой металлов (Zn, Cu, Pb, Cd), особенно биомикроэлементами, приводит к сдерживанию токсикоза почвенного раствора. Средняя длина корешка редиса приближается к показателям абсолютного контроля (водопроводная вода). Высокое загрязнение

(5 фонов) резко снизило этот показатель (20 %), вероятно, данное явление связано с метаболическими нарушениями (табл. 4.9). Большие концентрации ТМ препятствуют прорастанию семян, угнетают рост и развитие растений. Н.А. Черных и М.М. Овчаренко [20] подчеркивают, что на малопродуктивных почвах растения подвержены негативному действию ТМ в большей степени.

Таблица 4.9

Результаты исследований биологической активности дерново-подзолистой почвы, загрязненной тяжелыми металлами

Варианты опыта	Длина корешка редиса			Интенсивность разложения целлюлозы				
	мм	Изменения		Степень разложения, %	Изменения к:			
		мм	%		исходной почве		фону	
					±	%	±	%
Абсолютный контроль	14,0	–	–	29,5	–	–	–	–
Контроль (фон)	11,5	-2,5	-17,9	38,0	+8,5	+28,8	–	–
3 фона	12,7	-1,3	-9,3	23,9	-19,0	-5,6	-14,1	-37,1
4 фона	13,1	-0,9	-6,4	18,0	-39,0	-11,5	-20,0	-52,6
5 фонов	11,2	-2,8	-20,0	7,2	-22,3	-75,6	-30,8	-81,0
НСР _{0,95}	1,3	–	–	2,9	–	–	–	–

Методом аппликаций (6 повторений) по скорости развития на материале специфической и сопутствующей микрофлоры и по степени распада и убыли сухого вещества льняной ткани определяли активность почвенной микрофлоры. Для абсолютного контроля использовали почву вокруг данного опыта, на которой обнаружили слабую интенсивность разложения целлюлозы 29,5 % (табл. 4.9). Искусственно доведенная дерново-подзолистая почва до уровня фона повысила микробиологическую активность до 38,0 %, изменения составили 28,8 %. По Д.Г. Звягинцеву [21] такая интенсивность разрушения льняного полотна оценивается как средняя степень. Дальнейшее загрязнение почвы 3, 4, 5 фонов существенно снижает интенсивность разложения аппликаций. Уменьшение активности микроорганизмов по сравнению с фоном составили 37,1–81 %.

Таким образом, при оценке влияния загрязненной дерново-подзолистой почвы установлено, что концентрация подвижных

форм тяжелых металлов, особенно Cd, увеличивается, создаются условия миграции опасных форм ТМ в круговороте веществ в природе. Люпин, интенсивно развивая биомассу, аккумулирует значительное количество поллютантов, что способствует выносу их за пределы загрязненных участков. В то же время сорная растительность, особенно луговик дернистый, могут выполнять роль фитопротектора ТМ, а также способствовать удалению поглощенных токсикантов. При этом биологическая оценка степени угнетения микробных ценозов и токсичности загрязненной дерново-подзолистой почвы свидетельствовала о значительных изменениях функционирования биоценозов. Полиморфизные нагрузки несколько повышают токсичность почвы и снижают активность микрофлоры.

4.4. Баланс тяжелых металлов в полевом опыте

В настоящее время, в период интенсивного загрязнения агроценозов определение баланса тяжелых металлов приобретает важное теоретическое и практическое значение на всех уровнях исследовательской работы. Балансовые расчеты ТМ позволяют правильно реагировать и управлять в создавшихся ситуациях загрязнения агроландшафтов приемами детоксикации. При этом с учетом всех источников поступления поллютантов важно знать не только вынос этих элементов с урожаями, но все статьи прихода и потерь, тем более что почва не единственное звено биосферы, откуда растения черпают питательные и токсичные элементы.

Расчет баланса Cd, Pb, Zn, Cu в искусственно загрязненной дерново-подзолистой супесчаной почве, где применялась фитомелиорация, позволит дать оценку ее как способа детоксикации. При расчете баланса в статье прихода принимали во внимание средние показатели потока мокрого и сухого атмосферного осадения во втором этапе исследований (табл. 4.10). Выпадение осадков в 2003 г. составило 620 мм, в 2004 – 550 мм, 2005 – 395 мм (табл. 3.1).

При расчетах поступления элементов использованы результаты собственных аналитических исследований, в ходе которых были определены конкретные содержания Cd, Pb, Zn, Cu в полученном урожае зерна люпина узколистного в 2004–2005 гг. В

2003 г. покупные семена не анализировались. Поэтому поступление ТМ в 2003 г. с семенами рассчитывалось по средним показателям содержания их в урожае зерна за 2003–2005 гг..

В статью расхода включен вынос металлов надземными органами люпина узколистного (зерно, створки бобов, стебли + листья) и сорных растений.

В природных условиях характерной особенностью распределения концентраций химических элементов в грунтовых водах является процесс естественной трансформации химического состава. При радиальной и латеральной миграции водного стока происходит его обогащение различными элементами. Проведены расчеты потерь ТМ из корнеобитаемого слоя внутривпочвенным стоком в лизиметрическом опыте, проводившегося на дерново-подзолистой почве.

При рассмотрении баланса (табл. 4.10) изучаемых элементов в статье прихода поступление их с атмосферными осадками составляет 90–99%. Максимальный антропогенный привнос обеспечивает Cd, Cu 98% и более 99% соответственно.

При оценке выноса тяжелых металлов обнаружено, что биогенная миграция абсолютно преобладает для Zn и Cu вследствие их концентрирования в растениях (люпин, сорные травы) 84–96%, тогда как экотоксиканты Cd и Pb обнаруживаются во внутривпочвенном стоке 50–77%.

Приведенные расчеты показали, что баланс ТМ в фоновой почве (контроль) для Cd, Pb и Cu был положительным. Произошло депонирование поступивших элементов на 10%, 84%, 78% соответственно. В то же время для Zn ситуация полностью противоположна. Привнос в почву биомикроэлемента Zn не покрывает расхода, то есть биопоглощения растениями, и наблюдается его дефицит.

Биологический вынос из почвы в значительной мере обусловлен величиной урожая и биопоглощением элементов надземными органами люпина узколистного и сорной растительностью (так называемыми биопротекторами). На загрязненных вариантах, 3, 4, 5 фонов, при сравнительно количественно близких поступлениях Zn и Cu, отчуждение их из почвы основной культурой (люпина узколистного) и засоряющими его травами выросло соответственно в 3,5–4,6 и 8,6–9,9 раза. Вместе с тем токсиканты

в меньшей степени поглощаются растениями, но вынос Cd увеличился в 1,8–2,5 раза, Pb – 1,5–9,1 раза.

Таблица 4.10

**Баланс ТМ в загрязненной дерново-подзолистой супесчаной почве
(в среднем за год)**

Варианты опыта	Элементы		Поступление ТМ в почву, г/га			Вынос ТМ из почвы, г/га				Баланс	
	содержание в почве, г/га	сим-волы	с атмо-сферными осадками	с семе-нами	суммар-ный приход	уро-жаем люпина	урожа-ем сорных трав	внутри-почвен-ным стоком	суммар-ный расход	г/га ±	% ±
Кон-троль (фон)	300	Cd	1,93	0,03	1,96	0,51	0,23	1,04	1,78	+0,20	+10
	18000	Pb	105,55	0,22	105,77	3,53	1,37	11,40	16,30	+89,25	+84
	48000	Zn	79,29	8,05	87,34	64,20	69,20	12,52	162,22	-74,88	-86
	45000	Cu	68,34	0,92	69,26	15,19	3,57	2,19	20,95	+54,07	+78
3 фона	900	Cd	1,93	0,04	1,97	0,94	0,19	2,30	3,43	-1,47	-75
	54000	Pb	105,55	0,26	105,81	5,19	1,66	23,48	30,33	+75,48	+71
	144000	Zn	79,29	8,85	88,14	225,9	55,60	29,32	310,82	-222,68	-253
	135000	Cu	68,34	1,12	69,46	130,7	4,00	4,90	139,60	-70,14	-101
4 фона	1200	Cd	1,93	0,05	1,98	2,51	0,24	2,71	5,46	-3,48	-176
	72000	Pb	105,55	0,30	105,85	32,11	1,76	24,73	58,60	+47,25	+45
	192000	Zn	79,29	11,29	90,58	289,9	113,13	39,44	442,47	-351,89	-389
	180000	Cu	68,34	1,56	69,90	139,5	7,19	9,18	155,87	-85,97	-123
5 фонов	150	Cd	1,93	0,48	2,41	2,47	0,25	4,80	7,52	+5,11	-212
	90000	Pb	105,55	0,33	105,88	13,07	1,85	37,25	52,17	+53,71	+51
	240000	Zn	79,29	8,70	87,99	295,8	115,3	85,55	548,82	-460,83	-524
	225000	Cu	68,34	1,62	69,96	150,8	6,53	9,81	167,14	-97,18	-139

Миграция элементов с внутрипочвенным стоком в грунто-вые воды представляет собой транзит ТМ почвенного и петро-генного происхождения в биологическом круговороте. Загрязне-ние почвы комплексом металлов усиливает данный процесс. В инфильтрационных водах концентрация ТМ на загрязненных ва-риантах повысилась: Pb в 2,1–3,3 раза, Cd – 2,2–4,6, Zn – 2,3–6,8 и Cu – 2,2–4,5 раза.

Проведенные расчеты показали, что в опыте сложился по-ложительный баланс только по Pb как на фоновом, так и на за-грязненных вариантах. При этом в незагрязненной почве про-изошло депонирование поступившего свинца 84 %, в вариантах 3, 4, 5 фонов этот показатель несколько меньше – 45–71 %. Для других поллютантов баланс сложился отрицательный на загряз-ненных вариантах. Интенсивность баланса в данных вариантах зна-чительно выше и составила для Cd – 75–212 %, Zn – 253–524 %, Cu – 10–139 %.

Смоделированная техногенная геохимическая нагрузка на дерново-подзолистую почву, которая уже достигла аномальных количеств, а также ежегодное поступление металлосодержащих аэрозолей требуют выработки конкретных приемов по снижению фитотоксичности металлов в почве.

Итак, можно сделать выводы: на дерново-подзолистой супесчаной загрязненной ТМ почве выращивание монокультуры люпина узколистного будет одним из приемов ее детоксикации, тем более что эта бобовая культура обладает свойством накопления органического вещества и биологического азота в почве. Сорняки в ее посевах обладают высокой способностью к металлоаккумуляции, поэтому могут исполнять роль фитопротектора.

Факт отрицательного баланса Cd, Zn, Cu подтверждает выдвинутое выше предположение о том, что люпин, а вместе с ним растительное сообщество в виде сорняков, может применяться на загрязненных участках пашни для ее детоксикации.

Литература

1. Bowen H. J. M. Trace elements in biochemistry. – New York. L.: academic press, 1966. – 241 p.
2. Полевой В. В. Физиология растений. – М.: Высш. шк., 1989. – 464 с.
3. Ягодин Б. А., Торшин С. П. Элементный состав растений в методике агрохимических и агроэкологических исследований. М.: МГУ, 1997. – С. 59–64.
4. Агроэкология техногенно загрязненных агроландшафтов / Ю. А. Мажайский [и др.]. – Смоленск: Маджента, 2003. – 384 с.
5. Галиулин Р. В., Галиулина Р. А. Использование растений для реализации почв и сточных вод, загрязненных тяжелыми металлами // Биологические ресурсы и устойчивое развитие: материалы Междунар. науч. конф. – Пушкино, 2001. – 45 с.
6. Галиулина Р. А., Галиулин Р. В., Возняк В. М. Извлечение растениями тяжелых металлов из почвы и водной среды // Агрохимия. – 2001. – № 12. – С. 60–65.
7. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе «почва – растение». – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1991. – 151 с.
8. Артамонов В. И. Растения и чистота природной среды. – М.: Наука, 1986. – 172 с.
9. Экоотоксиканты в системе «почва – растения – животные» (на примере отдельных зон Алтайского края) / Л. М. Бурлакова [и др.]. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2001. – 236 с.

10. Практикум по земледелию / С. А. Воробьев [и др.]. – М.: Колос, 1971. – 519 с.
11. Минеев В. Г. Экологические проблемы в агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 285 с.
12. Черных Н. А., Милащенко Н. З., Ладонин В. Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. – М.: Агроконсалт, 1999. – 176 с.
13. Растениеводство / П. П. Вавилов [и др.]. – М.: Колос, 1979. – 510 с.
14. Тяжелые металлы в системе «почва – растение – удобрение» / под общ. ред. М. М. Овчаренко. – М., 1997. – 289 с.
15. Ермохин Ю. И., Трибина Н. К., Синдирева А. В. Моделирование действия тяжелых металлов в системе «почва – удобрение – растение – животное» // Бюллетень ВИУА. – 2001. – № 114. – С. 50–51.
16. Бабьева И. П., Левин С. В., Решетова И. С. Изменение численности микроорганизмов в почвах при загрязнении тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – С. 115–120.
17. Евдокимова Г. А., Кислых Е. Е., Мозгова Н. П. Биологическая активность почв в условиях аэротехногенного загрязнения на Крайнем Севере. – Л.: Наука, 1984. – 120 с.
18. Эколого-мелиоративные аспекты рекультивации нефтезагрязненных земель / Ю. А. Мажайский [и др.] // Сохранение и повышение продуктивности мелиорируемых земель центра Нечерноземной зоны России и Беларуси / под общ. ред. Ю. А. Мажайского, А. П. Лихачевича. – Рязань: Ряз. гос. сельскохоз. академия им. П.А. Костычева, 2005. – С. 356–394.
19. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
20. Черных Н. А., Овчаренко М. М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах: учеб. пособие. – М.: Агроконсалт, 2002. – 200 с.
21. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – С. 45–162.

Глава 5. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ОРОШЕНИИ МАЛОПРОДУКТИВНЫХ ЗЕМЕЛЬ

5.1. Влияние бесподстилочного навоза на окружающую среду

Многие факторы определяют плодородие почв, но ведущие из них – содержание в пахотном слое гумуса, подвижных форм азота, фосфора и калия, а также реакция среды. Уровень гумуса зависит от типа почв, севооборота и применяемых норм органических удобрений. Положительное влияние обычного подстилочного навоза или торфонавозных компостов на этот показатель ни у кого не вызывает сомнений. В отношении жидких органических удобрений высказываются спорные суждения. Это обусловлено тем, что бесподстилочный навоз характеризуется узким соотношением $C : N$, способствующим почти полной минерализации углерода.

Данное положение во многом и определяет слабое действие таких удобрений на баланс гумуса в почве, хотя при повышенных нормах возможно и обратное. Так, согласно исследованиям ТСХА, при внесении за 3 года 560 т/га жидкого навоза содержание гумуса возросло на 0,5 %. И только в севообороте, насыщенном пропашными культурами, этот показатель увеличился в меньшей степени.

Еще более убедительные данные получены в ВИУА, где проводили исследования на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве с ежегодным внесением от 1 до 5 доз полужидкого навоза крупного рогатого скота [3]. За 15 лет (три ротации севооборота со следующим чередованием культур: 1, 2 – кукуруза на силос, 3 – однолетние травы с подсевом многолетних, 4, 5 – многолетние травы) только с одной дозой было внесено органического вещества 45,9 т/га, азота – 1721 кг, P_2O_5 – 776, калия – 2280 кг/га. Длительное систематическое применение бесподстилочного навоза под все культуры севооборота способствовало повышению содержания гумуса, причем его количество увеличивалось не только в пахотном слое, но и в подпахотном слоях почвы, особенно на фоне трех- и пятикратной дозы (табл. 5.1).

Таблица 5.1

**Влияние длительного внесения бесподстилочного навоза
на содержание гумуса в почве, %**

Слой, см	Без удобрений	Навоз 1 доза	Навоз 2 дозы	Навоз 5 доз	НПК эквив. 2 дозам навоза	Навоз 1 доза + НПК эквив. 1 дозе навоза
Перед закладкой опыта						
0-20	1,82	Не опр.	1,64	1,70	1,73	1,80
После 1-й ротации						
0-20	1,58	Не опр.	1,91	2,27	1,85	1,89
20-40	0,79	»	0,80	1,02	0,90	0,93
40-60	0,36	»	0,36	0,34	0,38	0,37
После 2-й ротации						
0-20	1,57	1,73	2,19	2,76	1,95	2,18
20-40	0,77	0,90	0,98	1,27	1,11	1,18
40-60	0,36	0,35	0,40	0,39	0,40	0,41
После 3-й ротации						
0-20	1,70	1,87	2,14	2,90	1,80	2,13
20-40	1,06	1,07	1,10	1,54	1,16	1,19
40-60	0,37	0,41	0,39	0,44	0,40	0,42

Более благоприятные условия для образования гумусовых соединений в почве создаются на луговых угодьях.

В севооборотах с высокой долей многолетних трав (не менее 40 %) потребность в органических удобрениях нередко восполняется одними пожнивными и корневыми остатками. В наших опытах на дерново-подзолистых супесчаных почвах содержание гумуса под травами только за четырехлетний период возросло на 0,1 %, или на 2,8 т/га. Причем он концентрировался преимущественно в пахотном слое, где интенсивно протекают химические процессы трансформации органического вещества. Здесь сосредоточивалась основная масса корневых остатков. В последующие годы наблюдалось дальнейшее повышение уровня гумуса. Учитывая положительное влияние многолетних трав на этот показатель, им и следует отдавать предпочтение на сельскохозяйственных полях орошения (ЗПО).

По данным ТСХА [6], в результате длительного орошения пастбищ животноводческими стоками повысилось содержание гумуса в дерново-подзолистой суглинистой почве. При

этом изменился даже цвет горизонта A_1 – от сероватого до темно-серого. На протяжении 16 лет внесения бесподстилочного навоза в полевых опытах, проведенных в условиях Германии, в дозах 100, 150, 200 кг/га азота содержание углерода в слое почвы 0–30 см возросло соответственно до 0,6, 0,67, 0,75 % против 0,52 % на контроле [16].

В опытах Научно-исследовательского института по сельскохозяйственному использованию сточных вод (НИИ ССВ) «Прогресс» [20] после 11 лет орошения стоками КРС нормой $N_{240}P_{100}K_{320}$ в слое 0–10 см (дерново-подзолистая среднесуглинистая почва) содержание гумуса увеличилось с 3 до 3,49 %. Не возрос этот показатель при удвоении поливной нормы. В то же время при длительном орошении чистой водой без внесения удобрений (контроль) содержание гумуса в слое 0–10 см практически не изменилось, а в слое 10–20 см – уменьшилось на 10 %.

Представляет интерес оценка влияния систематического применения высоких доз бесподстилочного навоза на изменение не только количества, но и качества органического вещества почв, в частности величины активного пула углерода (содержания подвижных фракций и углерода микробной биомассы). Именно активная часть органического вещества участвует в основных трансформационных процессах (круговороты биофильных элементов), создании эффективного плодородия и биологической активности почв.

Длительное применение бесподстилочного навоза, по данным О.В. Орловой и др. [22], способствовало повышению содержания общего и подвижного органического вещества и азота в почве (табл. 5.2). При этом количество углерода в пирофосфатной вытяжке не изменилось, а в вытяжке K_2SO_4 возросло соответственно дозам органических удобрений.

Исследования также показали, что содержание азота в микробной биомассе при использовании органических удобрений в 2–3 раза выше, чем на контроле (табл. 5.3). При этом соотношение $C : N$ в ней резко сужается, что позволяет предположить и более высокую активность микробного сообщества. После отмирания такая биомасса будет разлагаться с накоплением минерального азота в почве, что благоприятно для азотного питания растений.

Таблица 5.2

**Содержание общего и подвижного органического вещества
и азота в почве**

Вариант	C _{гум} , %	pH _{KCl}	N-NH ₄ мг/кг	N щелочно- гидроли- зуемый, мг/кг	Содержание подвижного углерода (мг/кг) в вытяжке:	
					0,5 М K ₂ SO ₄	0,1 н Na ₄ P ₂ O ₇
Контроль	0,77±0,03*	4,5	15,6	90,1±2,1	59,1±1,7	477±118,2
N ₃₀₀ PK	0,90±0,03	3,9	24,2	105,0±10,9	76,7±5,5	807±63,0
Навоз:						
N ₃₀₀	1,30±0,02	5,5	13,5	146,3±1,0	83,9±12,8	454,43,2
N ₇₀₀	1,62±0,07	5,2	21,0	155,9±5,3	159,7±9,7	480±72,8

* В этой и следующей таблице – стандартное отклонение.

Систематическое внесение бесподстилочного навоза в дозе N₇₀₀ увеличило суммарную (бактерии + грибы) физиологическую активную биомассу в 2,5 раза относительно контроля, чего нельзя сказать о дозе N₃₀₀. При этом в активном микробиоценозе существенное значение имеют грибы, доля которых составила 36–43 % от суммарной активной биомассы, что, вероятно, связано с их активным участием в разложении органических веществ.

Таблица 5.3

Общая и активная микробная биомасса

Вариант	С биомас- сы	N биомас- сы	C : N в био- массе	Суммарная активная биомасса		Грибная активная биомасса	
	мг/кг			мг/кг	% от об- щей	мг/кг	% от суммар- ной
Контроль	175,9±113,0	79,3±5,8	9,0	238±3,5	33,2	19±3,0	8,0
N ₃₀₀ PK	986,9±33,2	66,4±1,4	14,9	315±0,0	31,9	19±0,8	6,0
Навоз:							
N ₃₀₀	878,0±37,2	172,2±12,0	5,1	173±20,2	19,7	74±9,6	42,8
N ₇₀₀	751,7±61,7	231,8±4,0	3,2	605±0,0	80,5	220 ±30,4	36,3

Под воздействием орошения стоками в сочетании с чистой водой увеличивалось содержание общего азота в почве всех вариантов. Так, в варианте N₁₂₀ количество его в слое почвы 0–10 см повысилось в 1,5 раза, а при максимальной норме стоков – в 1,6 раза

по отношению к исходному состоянию. В слое 10–20 см за указанный период при поступлении 120, 240, 360 кг/га азота со стоками содержание общего азота в почве увеличивалось в 1,7 раза, а при внесении 480–600 кг/га – в меньшей степени – в 1,2–1,5 раза. В слое почвы 20–40 см не отмечено четкой закономерности в изменении содержания азота при многолетнем орошении животноводческими стоками.

Попадая в пахотный слой, аммиак, содержащийся в животноводческих стоках, вступает в реакцию с почвенным раствором и почвенно-поглощающим комплексом. При этом повышается содержание легкогидролизуемого органического вещества. Одновременно усиливается его минерализация, что обусловлено сужением соотношения углерода к азоту, дополнительным внесением микрофлоры с жидкой органикой и улучшением водного режима почвы. В итоге в пахотном слое накапливается иногда больше усвояемого азота, чем его поступает с животноводческими стоками. Прежде всего, это наблюдалось нами на торфяно-глеевой почве [9]. Так, содержание азота при внесении N_{480} ежегодно повышалось на 100–120 кг/га, хотя вынос его с урожаем достигал 300 кг, а потери в результате вымывания и улетучивания в атмосферу составляли соответственно 13–30 и 50–85 кг.

Происходят и другие изменения. В среднем за вегетационный период на полях, орошаемых животноводческими стоками, в слое 0–30 см торфяно-глеевой почвы увеличилось содержание подвижного фосфора и в меньшей степени – калия, что обусловлено различным выносом этих элементов растениями. В опытах с урожаем трав ежегодно отчуждалось с гектара посева до 300 кг K_2O и в 4–5 раз меньше P_2O_5 . В итоге даже на фоне максимальной дозы стоков (N_{480}) баланс калия в пахотном слое был отрицательным. Его количество к концу вегетационного периода приближалось к уровню неудобренного варианта. Последнее обусловлено применением в наших опытах осветленных стоков свиноконплекса, обедненных калием, поэтому, например, с дозой азота 300 кг с ними вносилось лишь 200 кг/га K_2O .

Уже в первый год орошения многолетних трав животноводческими стоками повысилось содержание усвояемого фосфора. Аналогичная закономерность отмечалась и в последующие годы: его количество в зависимости от доз жидкой органики возросло до 32,6–40,2 мг на 100 г почвы против 14,6 мг на контроле (без

удобрений). Особенно интенсивно накапливались подвижные формы в торфяно-глеевой почве при дождевании стоками свиного комплекса из расчета 480 кг/га азота. В этом случае ежегодный положительный баланс фосфора в пахотном слое составлял 80–100 кг/га. Примерно такие же результаты получены другими исследователями.

При орошении животноводческими стоками улучшается и пищевой режим дерново-подзолистой супесчаной почвы: повышается содержание обменного калия. Причем в отношении этого элемента прослеживаются те же закономерности, что и на торфяно-глеевой почве: количество K_2O возрастает в весенне-летний период и снижается осенью. Такая динамика обусловлена выносом калия с урожаем многолетних трав. Однако на минеральных почвах наблюдаются и некоторые различия с торфяниками. Происходит дополнительная мобилизация калия за счет его обменных форм (на торфяниках она не наблюдалась). Это обусловлено спецификой калийного режима. В дерново-подзолистых почвах наряду с обменным имеется необменный калий, который и становится более доступным растениям при орошении животноводческими стоками. Что касается торфяных почв, то калий в них представлен преимущественно обменными формами. И только в высокозольных почвах данного типа в незначительных количествах присутствуют его необменные соединения.

Улучшается обеспеченность дерново-подзолистой супесчаной почвы и подвижным фосфором. Его содержание на фоне N_{300} животноводческих стоков возросло более чем на 7 мг на 100 г почвы. Еще заметнее повысилось количество усвояемых форм P_2O_5 при внесении максимальной дозы жидкой органики (N_{480}) на микропонижениях (табл. 5.4).

Как следует из данных таблицы, избыточные нормы жидких органических удобрений способствуют чрезмерному накоплению фосфора. Так, количество подвижных форм P_2O_5 достигло на фоне N_{480} 45,8 мг на 100 г почвы, что в два раза превышает оптимальный уровень. При этом следует иметь в виду и то обстоятельство, что внесение избыточных доз бесподстильного навоза не исключает перемещения элементов питания по профилю легких по гранулометрическому составу почв, а это крайне нежелательно, поскольку возможно загрязнение окружающей среды.

Отразилось внесение стоков и на содержании микроэлементов, особенно на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Содержание здесь меди и цинка определялось нормами жидких органических удобрений.

Таблица 5.4

**Содержание элементов питания
в дерново-подзолистой супесчаной почве**

Слой поч- вы, см	рН в КСl	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг/100 г почвы		
Контроль				
0-20	4,4	4,5	19,4	3,0
20-40	4,5	1,2	9,5	0,7
40-60	4,7	0,2	5,0	0,7
60-80	4,8	сл.	2,6	0,9
80-100	4,8	сл.	1,1	0,9
Норма азота стоков 480 кг/га*				
0-20	4,7	2,6	45,8	9,6
20-40	4,8	5,5	16,1	7,1
40-60	4,6	5,4	11,5	5,7
60-80	4,5	4,5	9,3	4,8
80-100	4,5	4,0	6,6	3,6

* – микропонижение.

Применительно к торфяно-глеевой почве можно говорить лишь о тенденции повышения этих микроэлементов в пахотном слое, хотя она орошалась в течение 9 лет. Последнее – следствие закрепления меди органическим веществом. Что касается цинка, то почти половина от внесенного его количества со стоками терялась в результате вымывания. Среднее положение по этим показателям занимала дерново-подзолистая супесчаная почва.

Практически на уровне контроля оставалась концентрация кобальта и никеля в торфяно-глеевой почве (табл. 5.5). То же отмечалось в отношении свинца и кадмия. Более выразительная картина получена на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Здесь на контроле содержалось кадмия 0,05 мг, а в вариантах с орошением – 0,10 мг/кг, что значительно ниже допустимых пределов (С.Е. Головатый, 2002). Вместе с тем необходимо корректировать ПДК в зависимости от реакции среды. С учетом этих данных становится понятным ухудшение качества корма на кислой торфяно-глеевой почве в отношении кадмия.

Таблица 5.5

**Содержание подвижных форм (в 1М НСl) тяжелых металлов
в пахотном слое, мг/кг**

Доза азота стоков, кг/га	Cu	Zn	Cd	Pb	Co	Ni
Торфяно-глебовая почва						
0	1,2	4,5	0,35	15,2	1,0	1,7
160	1,1	4,7	0,35	15,7	1,0	1,6
300	1,8	5,2	0,40	15,9	1,1	2,0
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва*						
0	1,0	5,4	0,05	4,0	0,5	0,4
300	1,5	6,3	0,07	5,3	0,6	0,7
480	2,4	10,4	0,10	5,7	1,0	1,2
*Ориентировочные ПДК	13,5	18,0	0,40	25,0	3,0	4,0

Относительно неудобренного контроля отмечалось некоторое повышение уровня свинца в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Еще существеннее были различия по содержанию марганца. Так, на фоне N₃₀₀ и N₄₀₀ стоков количество его подвижных форм составляло соответственно 110 и 128 мг/кг почвы против 51 мг в варианте без удобрений. Следовательно, важным условием рационального использования отходов животноводческих комплексов в земледелии и луговодстве является соблюдение оптимальных доз внесения таких удобрений.

Степень изменения в содержании макро- и микроэлементов во многом определяется оросительными нормами животноводческих стоков, поэтому техногенные нагрузки должны быть ограничены. Только в этом случае почва станет плодородной и будет эффективно выполнять свои экологические функции.

Специфично влияние жидких органических удобрений на реакцию среды. В первые дни после их внесения наблюдается некоторое подщелачивание дерново-подзолистых супесчаных почв, что вызывается прежде всего аммонием или аммиаком. В последующем происходит нитрификация азотсодержащих соединений, и величина pH несколько снижается. Но она остается выше исходных значений на 0,2–0,3, поскольку со стоками вносятся регуляторы кислотности – кальций и магний. Роль натрия здесь, по-видимому, ограничена: он интенсивно вымывается из почвенного профиля. Вместе с тем с нормой азота стоков 300 кг/га еже-

годно его вносится около 140 кг. Это отчасти обусловлено применением в ряде случаев для гидросмыва экскрементов животных, обработанных вод котельных, отличающихся повышенной концентрацией натрия. Поскольку с ним связаны процессы засоления почв, подобная технология экологически нецелесообразна, а значит, на комплексах необходимо предусмотреть локальную очистку таких вод, не допуская их смешивания с бесподстилочным навозом.

За четыре года орошения стоками свинокомплекса частично нейтрализовалась гидролитическая кислотность и возросла степень насыщенности почв основаниями, причем это наблюдалось не только на минеральных землях, но и на торфяниках. Однако на органических почвах изменения были менее значительными, что обусловлено их высокой буферной способностью. Так, величина рН здесь практически не зависела от применяемых доз удобрений (табл. 5.6), и только в микропонижениях незначительно увеличивалась [32].

Таблица 5.6

Динамика кислотности пахотного слоя при орошении многолетних трав стоками

Норма азота стоков, кг/га	Период наблюдений					
	Перед началом вегетации		После 1-го укоса		После 2-го укоса	
	рН в КСl	Н*	рН в КСl	Н	рН в КСl	Н
Торфяно-глебовая почва						
Без удобрений	4,70	83,2	4,65	74,1	4,55	74,5
N ₃₀₀	4,66	-	4,75	54,6	4,65	72,8
N ₄₈₀ , ровная поверхность	4,70	62,4	4,70	54,9	4,55	67,5
N ₄₈₀ (микророзападина)	4,85	52,5	4,83	57,1	4,83	64,9
Дерново-подзолистая супесчаная почва						
Без удобрений	4,2	4,67	4,48	3,90	4,38	4,33
N ₃₀₀	5,0	2,33	4,60	2,96	4,63	3,90
N ₄₈₀	4,9	3,0	4,90	2,25	4,97	3,98

* Гидролитическая кислотность, мг-экв на 100 г почвы.

Слабое влияние животноводческих стоков на реакцию среды объясняется и недостатком оснований в удобрениях. Даже при внесении максимальной дозы N_{480} в почву поступило 250–300 кг/га СаО. Если же учесть вынос оснований с урожаем, потери с дренажным стоком и затраты $CaCO_3$ на нейтрализацию физиологической кислотности аммиачных соединений азота, то положительный баланс кальция в пахотном слое едва превышал 50–70 кг/га.

Еще меньше с жидкой органикой поступало на поля магния. Его едва хватало для формирования урожая, остальное количество вымывалось. Отсюда следует важный для практики вывод: применение жидких органических удобрений не заменяет известкования почв. Только с помощью химической мелиорации можно нейтрализовать избыточную кислотность вновь осваиваемых земель. Потребность их в повторном известковании в каждом конкретном случае определяется различными методами.

Примерно то же наблюдалось на орошаемой стоками свинокмплекса (коммунальное унитарное сельскохозяйственное (КУСХП) «Северный» Городокского района Витебской области) дренированной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. При этом наиболее интенсивное накопление всех элементов питания происходит в пониженных участках рельефа, что обусловлено поверхностным стоком. Обогащение почвы элементами питания в результате орошения стоками подтверждается определением подвижных P_2O_5 по профилю почвы (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Изменение агрохимических свойств почв под влиянием орошения навозными стоками на фоне N_{480} стоков, КУСХП «Северный»

Место отбора образцов	Глубина, см	рН	P_2O_5	K_2O
			мг/кг	
Орошаемый участок	0-20	6,28	374	206
	20-40	6,22	198	150
	40-60	5,70	159	80
	60-80	5,4	129	26
Орошаемый участок (понижение)	0-20	6,75	741	190
	20-40	6,42	275	103
	40-60	6,1	234	98
	60-80	5,3	98	70
Неорошаемый участок (контроль)	0-20	4,61	257	108
	20-40	4,8	148	101
	40-60	4,49	120	59
	60-80	3,75	74	60

Поскольку со стоками на поля попадают Са и Mg, произошло увеличение рН почвы. На контрольном участке отмечалась высокая кислотность, особенно в слое 40–60 см. Почвы орошаемых участков характеризуются высокими качественными показателями.

Установлена зависимость между дозой стоков и урожайностью многолетних трав (рис. 5.1). При увеличении дозы с 360 до 480 кг/га прибавка урожая оказалась математически недостоверной, поэтому такую дозу азота стоков применять нецелесообразно, тем более что при N₄₈₀ накапливается в растениях избыточное количество нитратов и калия.

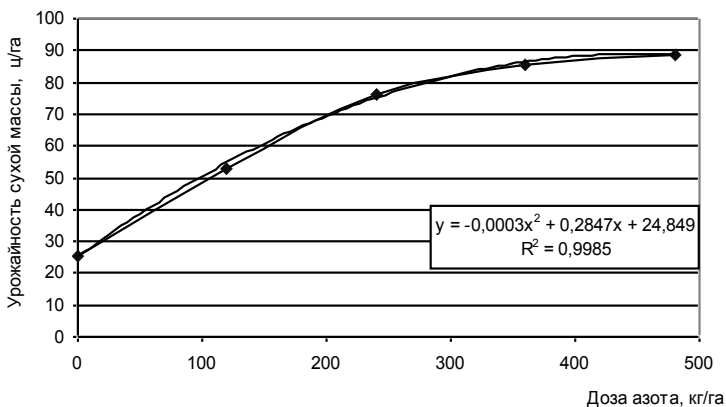


Рис. 5.1. Зависимость урожайности многолетних трав от доз азота животноводческих стоков (предел применимости формулы при значении (x) от 0 до 480 кг/га)

Отражается внесение бесподстилочного навоза и на водно-физических свойствах почв, что подтверждают исследования. По данным, приведенным на рисунке 5.2, жидкая фракция и особенно осадок свиносток впитываются почвой намного хуже, чем чистая вода.

Как показывают исследования некоторых авторов, внесение повышенных норм жидкой органики может снижать общую порозность пахотного слоя и увеличивать плотность почвы. При поливе животноводческими стоками образуется пленка твердых включений, обладающая кольматирующим действием, что и ослабляет фильтрационные свойства почвы.

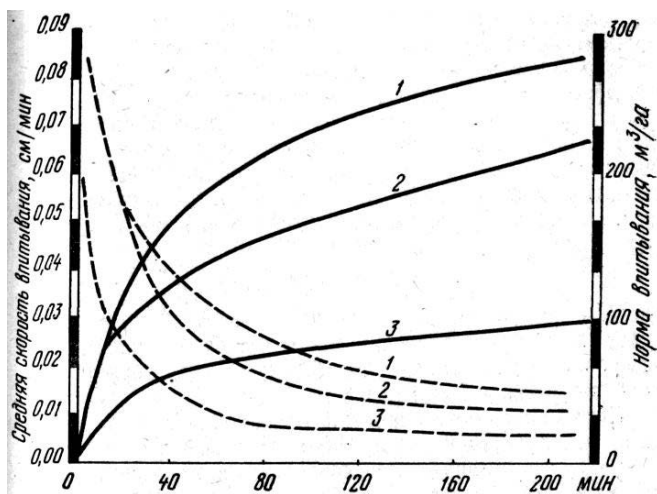


Рис. 5.2. Характеристика впитывания воды и животноводческих стоков в почву:

— норма впитывания; скорость впитывания;
 1 – чистая вода; 2 – жидкая фракция; 3 – жидкий осадок стоков свинокомплекса

Толщину пленки h можно определить по формуле:

$$H = K_{\Pi} H C (P_C / P_{вз}),$$

где H – слой животноводческих стоков, мм; P_C и $P_{вз}$ – плотность стоков и взвесей соответственно, $\text{кг}/\text{м}^3$; K_{Π} – коэффициент пропорциональности; C – содержание сухого вещества в стоках, %.

Поскольку соотношение плотностей стоков и взвесей изменяется незначительно, то впитываемость стоков обратно пропорциональна слою осадков поливной жидкости и содержанию в ней сухого вещества. При внесении около 20 мм бесподстильного навоза влажностью 98 % уже наблюдается образование колюматизирующей пленки, что ухудшает его поглощение даже песком. Полив менее концентрированными стоками слабее сказывается на изменении водно-физических свойств. Эти особенности необходимо учитывать при дождевании жидкими органическими удобрениями на всех типах почв, что позволит избежать поверхностного стока и загрязнения природных вод.

Самоочищающая способность – это природное свойство почвы, препятствующее загрязнению контактирующих с ней атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, расти-

тельности. Каждый из указанных элементов ландшафта обладает своей самоочищающей способностью, но наиболее выражена она у почвы. Под воздействием почвенных биоценозов и других свойств, а также факторов внешней среды (свет, температура, влажность) происходит разложение токсических соединений до безвредных веществ.

В основе очистки стоков лежит процесс взаимодействия почвогрунтов, воды, воздуха и микроорганизмов. Этот процесс представляет собой целую систему физико-механических и химических превращений: молекулярная диффузия, сорбция и десорбция, растворение, выщелачивание и кристаллизация, реакции ионного обмена, замещения и т. д. Все они в своей совокупности определяют общую поглонительную способность почвы. Различают пять ее видов: биологическую, механическую, физическую, химическую, физико-химическую.

Биологическое поглощение обусловлено наличием в почве живых корней растений и микроорганизмов, которые избирательно берут из почвенного раствора различные элементы, предохраняя тем самым их от вымывания. Количество микроорганизмов огромно, общая масса их может достигнуть нескольких тонн на 1 га. Прежде всего, они распространены в зоне, где почва непосредственно соприкасается с корнями растений (в ризосфере). Наиболее плотно заселен микроорганизмами – простейшими и беспозвоночными животными – и водорослями верхний (до 30 см) слой почвы. В результате возникает биологическая пленка с огромной адсорбционной способностью, 1 м² которой составляет суммарную поверхность бактериальных тел около площадью 48 000 м². В плазме живых тел микроорганизмов находится значительная масса азота, фосфора и калия. По подсчетам академика Е.Н. Мишустина, в окультуренных дерново-подзолистых почвах микробная плазма содержит N – 125 кг, P₂O₅ – 40 и K₂O – 25 кг на 1 га. Благодаря этому нитраты, не усвоенные растениями, частично удерживаются в почве. Биологическое поглощение – явление временное, так как после отмирания микроорганизмов и их минерализации элементы питания могут снова использоваться возделываемыми сельскохозяйственными культурами.

Механическое поглощение определяется свойствами почвы как всякого пористого тела, способного задерживать даже мелкие частицы и микроорганизмы из фильтрующейся жидкости, благо-

даря ему в почве оседает и не вымывается ил. Поскольку очистка стоков – процесс длительный, с санитарной точки зрения плоха как быстрая, так и замедленная фильтрация. В первом случае органическое вещество не успеет минерализоваться и может проникнуть в грунтовые воды, а во втором – минерализация идет крайне медленно, поэтому для создания ЗПО предпочтительны не пески и глины, а легкие и средние суглинки.

В основе физического поглощения лежат процессы молекулярной адсорбции некоторых веществ. Оно во многом зависит от суммарной поверхности почвенных частиц, которая резко возрастает с уменьшением их размера. При измельчении 1 см^3 вещества на кубики с длиной ребра $0,001$ и $0,000001 \text{ см}$ суммарная поверхность с 6 см^2 увеличится соответственно до 6000 и $6\,000\,000 \text{ см}^2$. Значит, чем больше в почве мелкодисперсных частиц, тем выше суммарная поверхность, на которой происходит поглощение.

Химическая поглотительная способность связана с образованием в результате химических реакций нерастворимых или труднорастворимых в воде соединений. Так, при взаимодействии угольной кислоты с двухвалентными катионами кальция и магния выпадают в осадок карбонаты CaCO_3 и MgCO_3 . В кислых дерново-подзолистых и торфяных почвах, содержащих много полуторных окислов, химическое поглощение фосфора идет с образованием еще более труднорастворимых фосфатов железа и алюминия. Свежеосажденные, они могут усваиваться растениями, но при старении становятся малодоступными для растений. Чтобы ослабить химическое закрепление фосфора, проводят известкование кислых почв.

Физико-химическое поглощение обусловлено способностью коллоидных частиц почвы (от $0,2$ до $0,001 \text{ мкм}$) поглощать различные катионы из раствора, причем поглощение одних катионов сопровождается вытеснением в раствор эквивалентного количества других. В связи с этим физико-химическое поглощение называют еще обменным.

Не последнюю роль играет и тип почвы, а точнее, совокупность органических и минеральных коллоидных частиц (гумусовые вещества, глинистые минералы, гидроокислы железа и алюминия), участвующих в обменном поглощении катионов, что было названо К.К. Гедройцем почвенным поглощающим комплексом, или ППК. Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные

почвы, как правило, имеют низкую емкость обмена по сравнению с суглинистыми или дерновыми.

Попадая в почву, животноводческие стоки подвергаются интенсивному воздействию многочисленной микрофлоры, что способствует их доочистке. Наиболее активен этот процесс в пахотном слое, богатом микроорганизмами. Вследствие биологических превращений жидкая органика минерализуется до соединений, поглощаемых растениями. Азотсодержащие вещества распадаются до аммиака с помощью аэробных и анаэробных бактерий, плесневых грибов и актиномицетов. Освобожденный аммиак быстро вовлекается в дальнейший кругооборот. Он вступает в обменные реакции с ППК, поглощается растениями, подвергается нитрификации и частично улетучивается в атмосферу. В доочистке стоков участвуют и другие виды поглощательной способности почв. Это прежде всего образование малорастворимых химических соединений фосфора и карбонатов.

Следует отметить, что каждый из пяти видов поглощательной способности почв имеет свой объект поглощения, однако все они в той или иной мере способствуют очистке жидких органических удобрений на сельскохозяйственных полях орошения. Стоки, фильтруясь через почвенную толщу, теряют запах и становятся прозрачными. Наиболее удобно самоочищающую способность почвы изучать с помощью стационарных лизиметров (рис. 5.3). В одном нашем опыте их устанавливали в специально подготовленную траншею на уровне поверхности почвы. Стенки траншеи в одном случае закрепляли деревянными щитами, в другом – траншею засыпали грунтом, не нарушая расположения почвенных горизонтов. Затем участок залужали. На поверхность почвы от стеклянных бутылей выводили резиновые шланги высокого давления, которые герметически закрывали. Для отбора фильтрата применяли ручной насос Комовского. В первом опыте надобности в нем не было: лизиметрические воды по соединительному шлангу стекали в емкость (рис. 5.3).

После замера объема фильтрата его переливали в пластмассовые баллоны и доставляли в химическую лабораторию для анализа. Степень очистки жидкой фракции бесподстильного навоза определяли по формуле:

$$S = \frac{B}{A} \cdot 100\%,$$

где В – количество вымытых питательных веществ с фильтратом, г;
 А – количество внесенных питательных веществ в лизиметр с
 животноводческими стоками, г.

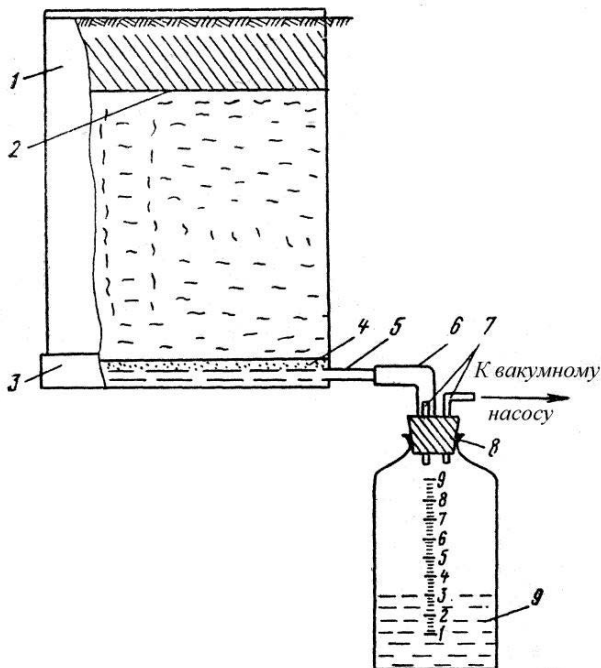


Рис. 5.3. Схема устройства лизиметра:

- 1 – камера; 2 – монолит почвы; 3 – поддон; 4 – галька, песок;
- 5 – дренажная трубка; 6 – шланг резиновый; 7 – трубки; 8 – пробка;
- 9 – емкость для сбора фильтрата

В прямой связи с нормами полива находился и химический состав лизиметрических вод. Так, на фоне $700 \text{ м}^3/\text{га}$ животноводческих стоков фильтрат из слоя почвы 0–30 см содержал калия 41 мг, натрия – 83, нитратов – 4,9, углерода органического – $106 \text{ мг}/\text{дм}^3$, а при внесении $850 \text{ м}^3/\text{га}$ за – соответственно 57; 111; 7; 153 мг в 1 дм^3 . Орошение при норме $1000 \text{ м}^3/\text{га}$ привело к еще большим потерям элементов питания. Однако и в этом случае они вымывались намного слабее из слоя почвы 0–50 см: поступление сульфатов и калия в фильтрат сократилось в пять раз, а органического вещества – в три раза относительно пахотного слоя (0–30 см).

В последующие годы в схему опыта были внесены изменения. Для орошения стали использовать животноводческие стоки и чистую воду, а также уменьшили нормы жидкой органики. Лизиметры заполняли различными типами почв, не нарушая их естественного сложения. Исследования проводили как на площадках без растений (пар), так и при возделывании многолетних трав. Наблюдения показали, что органическое вещество, азот и калий вымываются из торфяно-глеевой почвы сильнее, чем из дерново-подзолистой.

Совсем иное дело, если жидкие органические удобрения применяют во время роста и развития культур. Возделывание многолетних трав сокращало вынос калия в лизиметрические воды в три раза по сравнению с паровой площадкой. Намного меньше вымывалось из торфяно-глеевой почвы и минерального азота. Количество нитратов в фильтрате снижалось с 89,2 до 1,9 мг, а аммония – с 9,5 до 3,9 мг в 1 л, что лишним раз свидетельствует об исключительной роли растительного покрова в охране природных вод от загрязнений.

Определенное значение имеют и другие виды поглощательной способности почвы, что подтверждается более низким содержанием калия, аммония, органического вещества в фильтрате по мере увеличения мощности почвенного профиля. Так, в лизиметрах высотой 1 м вода, просочившаяся в поддон, содержала лишь 1,6 мг NH_4^+ и 4 мг калия, или в 2–3 раза меньше, чем в мелких лизиметрах (30 и 50 см). Что касается нитратов, то основной путь сокращения потерь – биологическая аккумуляция их растениями и микроорганизмами.

Однако нельзя сказать, что во всех случаях можно избежать негативных явлений. Как раз наоборот: при избыточных нормах внесения жидкой органики не исключается вымывание элементов питания растений и под многолетними травами. Особенно это наблюдается в том случае, если сразу после орошения животноводческими стоками выпадают обильные дожди.

Самоочищающая способность почвы зависит от режима орошения. При внесении животноводческих стоков дробно, под каждый укос многолетних трав, с общей нормой за вегетационный период 600 м³/га, или 300 кг/га азота потери элементов питания снижаются до минимума. Вода жидкой органики при этом расходуется на транспирацию растений, что ограничивает ее ин-

фильтрацию. В торфяно-глиевой почве на глубине 0,8 м обнаружилось более 5 % внесенной дозы азота (табл. 5.8). Остальное его количество поглощалось многолетними травами и самой почвой, а также частично терялось в процессе полива за счет улетучивания аммиака в атмосферу.

Таблица 5.8

**Очистка стоков свиноплекса торфяно-глиевой почвой
(среднее за 1985–1987 гг.)**

Макроэлементы	Поглощено слоем почвы 0,8 м, кг/га	Потери в результате вымывания, кг/га	% поглощения от внесенного количества
Хлориды (Cl ⁻)	8,0	99,0	7,5
Кальций (Ca ²⁺)	27,0	88,0	23,5
Магний (Mg ²⁺)	8,0	17,0	32,0
Калий (K ⁺)	159,0	21,0	88,3
Натрий (Na ⁺)	26,0	94,0	21,7
Фосфор (P ₂ O ₅)	109,8	0,2	99,8
Азот аммонийный	238,0	2,0	99,2
Азот общий	285,0	15,0	95,0
Сорг.	490,0	50,0	90,7

Меньше стало попадать в лизиметрические воды и калия. Более того, даже хлоридов, которые, как известно, обладают очень высокой миграционной способностью, вымывалось меньше. Аналогичная закономерность прослеживалась в отношении минеральных удобрений, внесенных в эквивалентных дозах со стоками с последующим поливом чистой водой. Дробное внесение животноводческих стоков синхронизирует процесс разложения жидкой органики и усвоения элементов питания растениями. В этом случае образуется столько нитратного азота, сколько его может поглотить корневая система, тем более что отсутствует и промывной режим почвы, который особенно выражен на переувлажненных участках.

Изучением почвенной очистки животноводческих стоков занималась также В.И. Дмитриева [7]. Ее эффективность определялась путем сравнения химического состава во время полива, и после инфильтрации жидкости через слои в 20, 50, 100 см. Установлено, что эффект очистки жидкой фракции стоков КРС зависел от мощности почвенного слоя и нормы внесения. Так, при внесении стоков за вегетационный период из расчета 300 кг об-

щего азота ($N_{\text{общ.}}$) получен максимальный эффект очистки – 99,1 %. Показатель БПК в лизиметрических водах после прохождения метрового слоя почвы составил здесь 64 мг $O_2/\text{дм}^3$, что соответствовало 99,5 % очистки по сравнению с исходным уровнем. При повышении поливной нормы вдвое степень почвенной очистки снизилась по азоту до 96,2 %. Автором сделан вывод о том, что почвенный метод является высокоэффективным способом очистки жидкой фракции стоков. Он позволяет получить дополнительный урожай кормовых культур за счет удобрительного орошения и повышения плодородия почвы.

В целом же можно утверждать, что при исключении избыточных доз стоков почвенная очистка более эффективна, чем искусственная биологическая (табл. 5.9). Убедительные данные в пользу этого приводит Н.М. Шевцов [35].

Таблица 5.9

Уменьшение содержания биогенов в зависимости от способа очистки животноводческих стоков, %

Способ очистки	БПК ₅	Азот	Фосфор	Калий
Сточные воды свинокомплексов				
Механическая	7	13	36	6
Механическая + одноступенчатая биологическая	77	32	61	2
Механическая + длительная биологическая	96	61	-	8
Механическая + двуступенчатая биологическая	97	48	62	6
Механическая + двуступенчатая биологическая + лагунная	99	98	99	83
Механическая + почвенная с большой нагрузкой	99	75	99	90
Механическая + почвенная	99	98	99	99
Сточные воды КРС				
Механическая + дезодорация	40-77	5-10	0	0
Механическая + почвенная с высокой нагрузкой	99	85	99	95
Механическая + почвенная	99	99	100	100

Известно, что окисление аммиака в почве обусловлено нитрификацией. Сама по себе она не изменяет общего содержа-

ния минерального азота, а переводит адсорбированную форму азота в водорастворимую. Нитрификация – хемосинтезирующий процесс, при котором микроорганизмы получают необходимую для своей жизнедеятельности энергию за счет окисления аммиака и нитритов. Эти соединения служат нитрифицирующим бактериям источником азота. Углерод они получают из углекислоты воздуха и карбонатов. Все бактерии, вызывающие нитрификацию, – облигатные аэробы и без кислорода не жизнедеятельны. Оптимальные условия для них создаются, когда влажность почвы находится в пределах 60–70 % от полной влагоемкости при свободном поступлении кислорода. На мелиорированных землях такие условия необходимо создавать путем регулирования уровней почвенно-грунтовых вод и поливных норм животноводческих стоков, а также использованием различных приемов по улучшению аэрации корнеобитаемого слоя почвы.

На превращении аммиачного азота в нитратный сказывается и температурный фактор. Наиболее активна нитрификация при температуре около +30 °С. Похолодание ниже +5 °С резко замедляет этот процесс, хотя абсолютные границы возможной нитрификации лежат в пределах от – 4 до +40 °С. С учетом этого в условиях Беларуси предпочтительно вегетационное орошение жидкой органикой. В этом случае превращение основного количества аммиачных соединений в нитраты завершается практически за 20 дней (табл. 5.10). При вневегетационном орошении микробиологические процессы ослаблены и самоочищающая способность почвы минимальна.

С животноводческими стоками на поля вносятся не только азот, фосфор или калий, но и многочисленная микрофлора, которая поглощается почвенными частицами. При этом ранней весной и поздней осенью поглотительная способность почвы ниже, чем летом, что обусловлено различием во влажности и температуре пахотного слоя. Похолодание и переувлажнение ухудшают поглотительную способность по отношению к бактериям. Различаются по этому показателю и сами почвы. Особенно выражена поглотительная способность у глин, содержащих много минерала монтмориллонита. Минимальна она у песков, но в любом случае адсорбционная способность почвы замедляет скорость и дальность перемещения бактерий, ограничивая загрязнение природных вод. По мере коагулирования и перехода загрязненного раствора в гель почва

может даже стать совсем непроницаемой для микроорганизмов. При этом основную роль здесь играют гидрофильные и минеральные коллоиды.

Таблица 5.10

**Динамика аммиака и нитратов в лизиметрическом опыте,
мг/100 г почвы**

Номер лизиметров	Слой почвы, см	Норма стоков, мм	Количество дней после полива				
			3		10	20	
			NO ₃	NH ₄	NH ₄	NO ₃	NH ₄
Дерново-подзолисто-глеувато-супесчаная почва							
1	0-15	60*	26,2	39,2	5,1	48,8	4,2
	15-30		25,9	16,8	3,8	48,7	4,6
2	0-15	40	30,2	9,4	6,3	25,6	-
	15-30		18,9	13,1	2,4	26,6	2,9
	30-50		13,5	1,0	0,9	11,6	0,3
3	0-15	40	4,1	10,0	5,9	12,1	4,4
	15-30		4,0	1,0	3,1	7,0	1,6
	30-50		1,7	1,1	1,4	2,9	следы
Торфянисто-глеевая почва							
5	0-15	30	19,6	79,6	2,5	50,2	5,1
	15-30		22,9	24,2	4,3	30,6	4,4

* Поливная норма в 1982 г. – 40 мм, в 1983 – 20 мм. Перед внесением стоков в лизиметры 3 и 5 прилито соответственно по 30 и 40 мм чистой воды.

Со стоками в почву попадает сапрофитная и даже патогенная микрофлора. Первая может принимать участие в процессах разложения бесподстилочного навоза в пахотном слое, а затем вообще потерять свою жизнеспособность. Количество бактерий в почве резко возрастает сразу же после внесения животноводческих стоков. Спустя 8 месяцев после третьего полива содержание микроорганизмов в торфяных почвах снизилось до уровня контроля (табл. 5.11). Яйца гельминтов поглощались пахотным слоем и на глубине 40 см не обнаруживались.

Самоочищающая способность почвы зависит от применяемых норм жидкой органики, что подтверждается результатами многолетних исследований. Использовали стоки свиноводческого комплекса из расчета 240, 360, 480 и 600 кг/га азота. Самоочищение почвы от сальмонелл заканчивалось через 7–8 месяцев после последнего полива жидкими органическими удобрениями. Более интенсивно оно происходило при внесении минимальной нормы стоков.

Таблица 5.11

**Микробиологические показатели полей, удобряемых
животноводческими стоками (П.П. Смирнов, 1985)**

Глубина отбора почвенного образца, см	Коли-титр					Общее микробное число, тыс. в 1 г				
	до полива	после 1-го	после 2-го полива	после 3-го полива	через 8 месяцев после 3-го полива	до полива	после 1-го полива	после 2-го полива	после 3-го полива	через 8 месяцев после 3-го полива
10	0,1	10 ⁻⁴	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	0,1	32,2	97	373	970	18
20	0,1	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	0,1	18,9	66	249	530	16
50	0,1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	0,1	29,1	148	180	520	30
100	0,1	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	0,1	51,2	83	114	880	44

Отдельные группы микроорганизмов чувствительны к повышенным температурам, солнечному свету, особенно к ультрафиолетовым лучам, поэтому самоочищение почвы от патогенной микрофлоры сильнее выражено летом, так как в теплый период года особенно активизируется ферментативная активность почвенного биоценоза, которая и ингибирует различных возбудителей заболеваний.

Не меньшее значение в самоочищении почвы имеют также возделываемые на земледельческих полях орошения сельскохозяйственные культуры. Они усиливают биохимические процессы, получая взамен необходимые для себя элементы питания и влагу. Одновременно с этим, как показали исследования микробиологов, в ризосфере растений бактерии группы кишечной палочки отмирают быстрее, чем в почве под паром [8]. Корневая система растений, особенно многолетних трав, оказывает антагонистическое действие и на другую патогенную микрофлору.

Однако способность элементов к самоочищению имеет границы. К примеру, возбудители ряда инфекционных заболеваний способны не только длительное время сохраняться в почве, но и размножаться в ней при определенных условиях. В связи с этим во время эпизоотии на животноводческом комплексе предусмотрено обеззараживание бесподстилочного навоза, и только после этого возможно его применение в качестве удобрений.

Самоочищающая способность почвы во многом определяется механическим составом, нормами стоков, водным и те-

пловым режимом, мощностью почвенного профиля, технологией орошения и наличием растительного покрова. При прочих равных условиях преимущество имеет дробное внесение оптимальных доз жидкой органики под каждый укос трав. Вневегетационное орошение способствует загрязнению окружающей среды.

5.2. Обеззараживание животноводческих стоков

По данным Всемирной организации здравоохранения, навозные стоки могут быть фактором передачи более 100 инфекционных и паразитарных заболеваний скота, в том числе опасных для человека. Особенно неблагоприятны в эпидемиологическом отношении отходы свинокомплексов, поскольку свиньи более подвержены различным заболеваниям по сравнению с другими видами животных и их экскременты содержат повышенное количество бактерий группы кишечной палочки.

Согласно проведенным исследованиям, возбудители бруцеллеза сохраняют жизнеспособность в жидком навозе 108–174 суток, паратифа – 92–157, рожи свиней – 92–157, ящура – 42–192, туберкулеза – 457 суток; яйца аскарид, стронгилят – свыше шести месяцев [21, 27, 28].

С повышением содержания влаги в отходах животных эти сроки возрастают в несколько раз. Еще дольше сохраняется инфекция при попадании загрязненного навоза в почву, поэтому использование для удобрения необеззараженных стоков небезопасно в эпидемиологическом отношении. Недопустимо их применение на орошаемых угодьях, так как капли дождя воздушным потоком могут далеко разноситься и загрязнять обширные территории.

Для обеззараживания отходов животноводческих комплексов существует множество способов, которые классифицируют как биологические, химические и физические. Из последних наибольшее распространение в производстве получили так называемые пароструйные установки. Биологические же способы основаны на разрушении и минерализации органического вещества микроорганизмами (рис. 5.4). Этот процесс может протекать как в естественных условиях (в почве, биологических прудах), так и в искусственных (аэротенки, метантенки и др.).

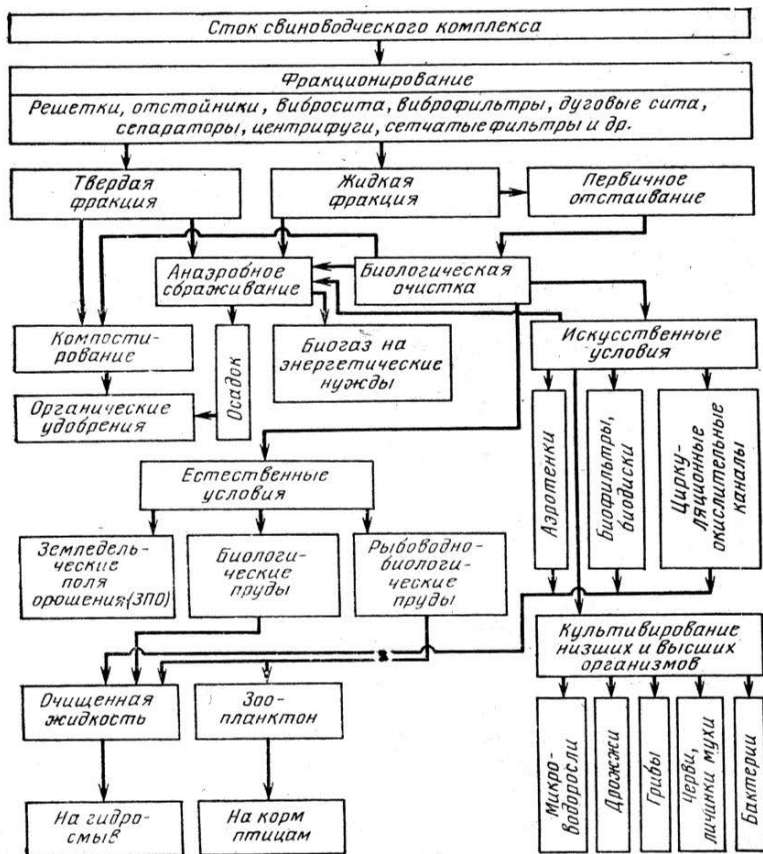


Рис. 5.4. Блок-схема очистки стоков свиноккомплексов

Установлено, что биогаз, получающийся в ходе этого процесса, представляет собой смесь из 65 % метана, 30 % углекислого газа, 1 % сероводорода (H_2S) и незначительных количеств азота, кислорода, водорода и оксида углерода. Потенциальная энергия, заключенная в 28 м^3 биогаза, эквивалентна энергии $16,8 \text{ м}^3$ природного газа, $20,8 \text{ л}$ нефти или $18,4 \text{ л}$ дизельного топлива. Разработкой биоэнергетических систем для утилизации навоза и получения биогаза занимаются почти во всех странах мира.

Наибольшее количество действующих биоэнергетических установок для этих целей находится в КНР (7 млн шт.) и Индии –

(1,5 млн). В Западной Европе функционируют более 500 промышленных биоэнергетических установок (БЭУ). Если учесть более мелкие БЭУ, то лишь в Германии их более 1000 [1]. В Беларуси пока таких установок 3, планируется ввести в эксплуатацию 39 суммарной мощностью 40,4 МВт.

Схема БЭУ представлена на рисунке 5.5

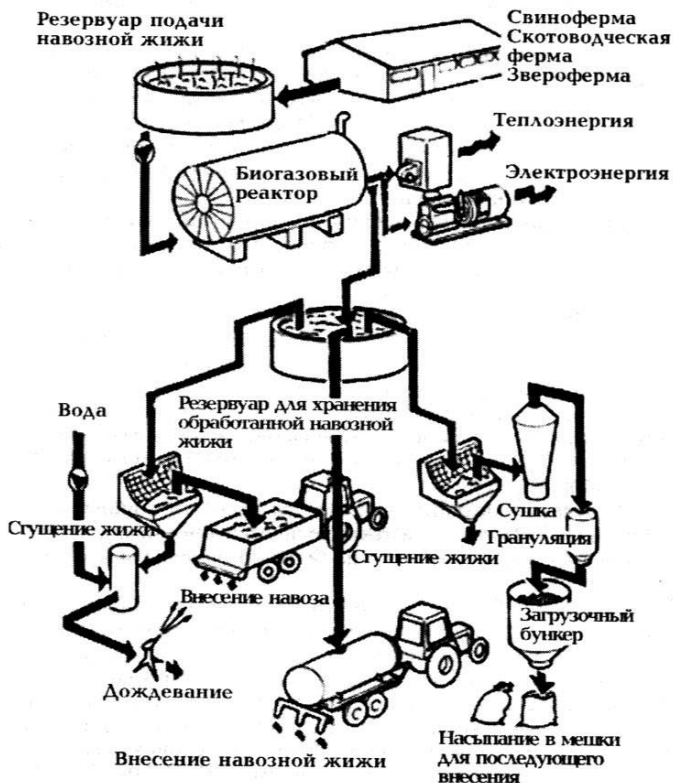


Рис. 5.5. Комплексная схема рационального использования навозных стоков на животноводческих комплексах

Согласно НТП 17-99 оптимальная влажность отходов животных для сбраживания оставляет 90–92 %, зольность – 15–16 %, отношение С:N – (10–16):1.

5.3. Влияние стоков на качество урожая

Растениеводческая продукция, выращиваемая на земельно-сельскохозяйственных полях орошения, содержит не только калий, кальций, азот, но и *микроэлементы*. В 1 м^3 этих стоков идущих на орошение находится в среднем: железа 1200 мкг, цинка – 270, меди – 59, никеля – 43, свинца – около 8, хрома – 7, молибдена – 0,8, кобальта – 5, марганца – 248 и кадмия – 0,1 мкг, причем в исходных стоках (взятых на очистных сооружениях) количество этих элементов было многократно больше (к примеру, меди – почти в 8 раз, никеля – в 2,4, железа – в 15, молибдена – в 4,3 раза).

Как показали наши исследования, наличие железа и марганца в травах находилось в прямой зависимости от количества внесенных жидких органических удобрений. Несколько возросла концентрация цинка, меди, что благоприятно сказалось на качестве урожая, тем более что в рационах животных их, как правило, недостаточно. И только на почвах, хорошо обеспеченных усвояемыми формами микроэлементов, систематическое внесение свыше 300 кг/га азота стоков свинокомплексов может иногда привести к повышенному накоплению меди и цинка многолетними травами (рис. 5.6). Но в большинстве случаев этого не происходит в силу антагонизма ионов при поглощении их растениями.

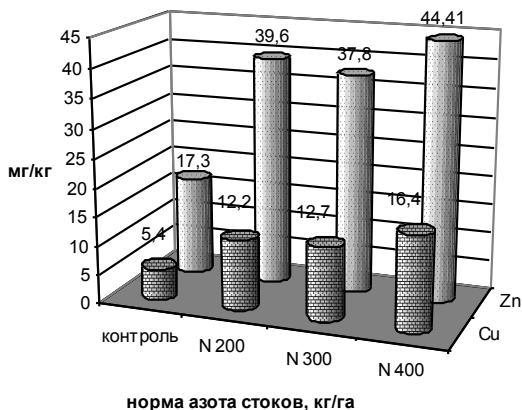


Рис. 5.6. Содержание микроэлементов в многолетних травах в зависимости от норм стоков (селекционно-гибридный центр «Заднепровский» Оршанского района)

Сказывается здесь и тип почвы. На осушенных торфяниках даже после длительного орошения навозными стоками содержание меди в многолетних травах изменялось незначительно, хотя концентрация железа, марганца, цинка в отдельных укосах почти удваивалась.

Представляют интерес данные Н.Н. Лазарева и В.А. Михеева [13] о содержании тяжёлых металлов в многолетних травах, возделываемых на суглинистых почвах (табл. 5.12).

Таблица 5.12

Содержание никеля, цинка, кадмия в многолетних травах при орошении животноводческими стоками (мг/кг сухой массы)

Вариант	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	укос	укос	укос	укос	укос	укос	укос	укос	укос
	Никель			Цинк			Кадмий		
Контроль	1,0	0,95	1,20	15,3	13,5	12,2	0,05	0,10	0,10
N ₁₂₀ P ₅₀ K ₁₆₀	1,9	1,2	1,90	16,4	17,0	22,6	0,07	0,12	0,14
N ₁₈₀ P ₇₅ K ₂₄₀	1,9	1,5	1,68	17,5	16,5	21,8	0,07	0,15	0,18
N ₂₄₀ P ₁₀₀ K ₃₂₀	2,1	1,3	1,85	18,3	16,8	20,8	0,07	0,19	0,16
N ₃₀₀ P ₁₂₅ K ₄₀₀	2,0	1,8	2,40	20,4	17,1	21,5	0,09	0,19	0,14
N ₃₆₀ P ₁₅₀ K ₄₉₀	2,4	1,8	2,62	20,9	17,3	19,9	0,09	0,23	0,14
N ₄₈₀ P ₂₀₀ K ₆₅₀	2,6	2,0	2,80	21,2	17,5	19,0	0,10	0,30	0,24
N ₆₀₀ P ₂₅₀ K ₈₁₀	2,8	2,5	2,95	19,2	16,0	20,5	0,10	0,30	0,26
Коэффициент корреляции (r)	0,94	0,97	0,95	0,79	0,52	0,29	0,94	0,98	0,86

Из группы тяжелых металлов особую тревогу вызывают прежде всего кадмий, ртуть, свинец, содержание которых в окружающей среде постоянно растет. Поступают они в почву с атмосферными осадками и в результате сгорания топлива. Но основной источник их на сельскохозяйственных угодьях – фосфорные удобрения, осадки городских сточных вод, компосты из бытового мусора, пестициды и различные отходы промышленности, в том числе пиритные огарки. В определенной мере способствует накоплению тяжелых металлов в почве и внесение животноводческих стоков.

В наших опытах содержание свинца несколько увеличивалось в травах на фоне высоких норм навозных стоков, оставаясь ниже ПДК, хотя иногда концентрация последнего составляла 3 мг/кг. Количество кадмия в отдельных укосах приближалось к предельной величине 0,4 мг/кг сухого вещества. Это следствие как повышенных норм стоков, так и, очевидно, кислой реакции среды.

Растительную продукцию оценивают и по содержанию нитратов. Высокая их концентрация резко ухудшает качество корма. В организме животного нитраты могут превращаться в нитриты, которые обладают высокой токсичностью, так как окисляют двухвалентное железо гемоглобина в трехвалентное. При этом образуется метгемоглобин, не способный переносить кислород к различным тканям и органам, в результате чего могут наблюдаться удушье и гибель скота [29].

Впервые острое отравление нитратами крупного рогатого скота было зарегистрировано за рубежом в 1895 г. Причиной могла быть их высокая концентрация в кормах и воде. В обычных же условиях поступившие в рубец жвачных животных нитраты (через ряд промежуточных соединений) восстанавливаются в аммиак и не причиняют серьезного вреда организму.

Токсичность нитратов зависит от скорости превращения их в нитриты. При скармливании кормов с повышенным содержанием нитратов последние восстанавливаются до нитритов быстрее, чем нитриты до аммиака. На этой промежуточной стадии редукции нитриты оказывают токсическое действие. Задержка восстановления нитратов до аммиака обусловлена многими факторами, в том числе типом кормления. Особенно часто это наблюдается при недостатке в рационе легкопереваримых углеводов. Между тем с повышением содержания нитратов и протеина снижается концентрация водорастворимых углеводов в растениях (рис. 5.7).

Кроме того, у жвачных животных при чрезмерном содержании нитратов в рационах наблюдаются как острые, так и хронические отравления, подавляется синтез бактериального белка, поглощение йода щитовидной железой, происходит жировая инфильтрация печени. Наиболее опасны нитраты и нитриты для молодняка, так как их ферментативная система еще не развита, а гемоглобин новорожденных более подвержен окислению, чем гемоглобин взрослых животных [4].

Нитриты наиболее опасны для животных с однокамерным желудком. Содержание их в кормах не должно превышать 10 мг/кг. Для предупреждения отравления животных необходимо учитывать уровень нитратов в кормах и питьевой воде. Для взрослых животных он не должен превышать 0,5 % сухого вещества рациона, а для молодняка – 0,25 %.

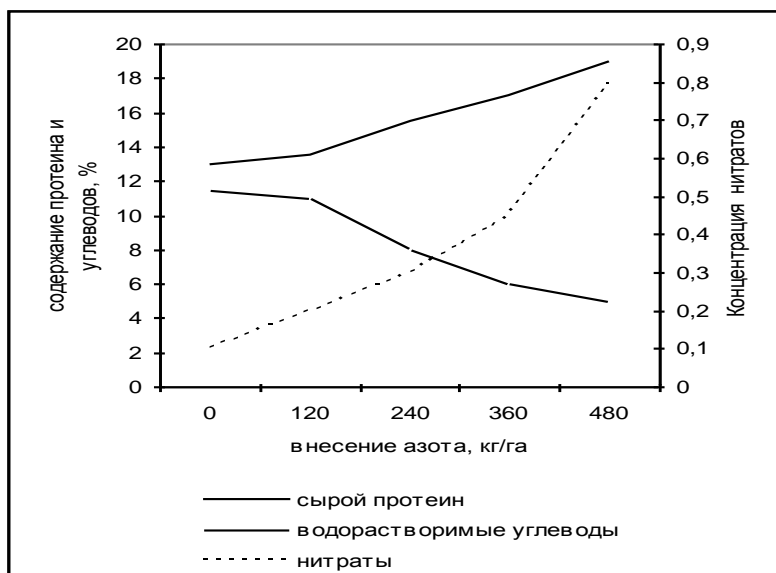


Рис. 5.7. Качество урожая многолетних трав, орошаемых животноводческими стоками

Исходя из приведенных в нашей стране и за рубежом зоотехнических опытов, можно сказать, что, по-видимому, более оправдана допустимая доза нитратов в сухой массе многолетних трав в пределах 2000–4000 мг/кг. В данном случае на фоне оптимальных доз стоков обеспечивается их высокий урожай. Дальнейшее повышение уровня азотного питания нецелесообразно из-за избыточного накопления нитратов растениями.

По данным иностранных ученых, при наличии в сухом веществе до 0,4 % нитратов корма используются без всяких ограничений. Растительная масса с уровнем NO_3 0,4–0,65 % безвредна для здоровых животных, а для стельных коров ее можно включить в рацион в количестве не более 50 % (табл. 5.13). Следовательно, допустимая концентрация нитратов во многом определяется физиологическим состоянием животных. Имеет значение и сбалансированность рационов по углеводам. При оптимальном сахаро-протеиновом отношении в кормах (0,8–1,5) вред токсиантов проявляется слабее.

Одним из приемов снижения содержания нитратов в травах является силосование. Что касается искусственной сушки, то она

слабо сказывается на этом показателе. При скармливании же зеленой массы велика опасность образования нитритов во время промежуточного хранения. Поэтому корма, заготавливаемые на ЗПО, должны использоваться животными в консервированном виде [15].

Таблица 5.13

**Использование кормов с различным содержанием нитратов
(Е. Hein, 1970; В.Г. Игловиков и др., 1983)**

В сухом веществе, %		Рекомендации к скармливанию
NO ₃	N-NO ₃	
0-0,4	0-0,1	Безопасно
0,4-0,65	0,12-0,15	Безопасно для здоровья животных. Для стрельных животных допускается скармливание 50 % сухого вещества рациона
0,66-0,87	0,16-0,20	Доля такого корма не более 50 % сухого вещества рациона
0,88-1,55	0,21-0,35	Запрещается скармливать стельным животным; остальным – не более 40 % сухого вещества рациона
1,56-1,78	0,36-0,40	Не более 25 % сухого вещества рациона
Более 1,78	Более 0,40	Можно скармливать лишь откормочным животным в ограниченном количестве

Имеют значение также способы и сроки внесения удобрений и их виды. Аммиачный азот уменьшает накопление NO₃ в растениях по сравнению с нитратным. Как правило, азотные туки повышают концентрацию этих соединений сильнее, чем бесподстилочный навоз. Так, в наших опытах на маломощных торфяных почвах при внесении аммиачной селитры из расчета N₃₀₀ дробными дозами под каждый укос травы содержали в несколько раз больше нитратов, чем на фоне животноводческих стоков. Особенно ухудшалось качество зеленой массы,

Более низкое содержание нитратов в кормах при использовании бесподстилочного навоза, по сравнению с минеральными азотными удобрениями, обусловлено тем, что азот в нем находится преимущественно в форме аммиака или аммония. Имеет значение и наличие в жидкой органике микроэлементов и сульфатов, которые также способствуют уменьшению концентрации NO₃ в растениях. Однако все это происходит в том случае, если применяются оптимальные нормы животноводческих стоков. Стоит только превысить их, как содержание нитратов в многолетних злаковых травах возрастет сверх допустимого уровня.

Различаются по накоплению NO_3 и сельскохозяйственные культуры. Ежа сборная обычно богаче токсическими соединениями, чем тимофеевка луговая. Минимальным количеством нитратов характеризуются клевер луговой и другие бобовые, поскольку восстановление NO_3 происходит у них в корневой системе. Злаки, наоборот, транспортируют их в надземную массу, где происходит дальнейшее превращение азотсодержащих соединений. Наиболее активен этот процесс при благоприятных условиях для фотосинтетической деятельности листового аппарата, когда образуется достаточно углеводов. Все факторы, снижающие продуктивность фотосинтеза (недостаток освещения, тепла, влаги), способствуют накоплению нитратов растениями [33].

Содержание нитратов снижается с возрастом трав. Так, в одном из наших опытов на фоне азотсодержащих удобрений тимофеевка луговая имела NO_3 в фазе кушения 0,61%, стеблевания – 0,42 и начала колошения – 0,26 % на сухую массу. Проявилась эта зависимость и в условиях различных доз азота (рис. 5.8).

Особенно много нитратов накапливают травы в конце вегетационного периода, что, очевидно, обусловлено ослаблением фотосинтеза в растениях по мере снижения температуры. Это касается не только злаковых трав, но и других культур, в частности озимого рапса. Отмеченные особенности следует иметь в виду при удобрении животноводческими стоками. Под озимый рапс и последний укос трав их нормы необходимо регулировать с учетом складывающихся погодных условий.

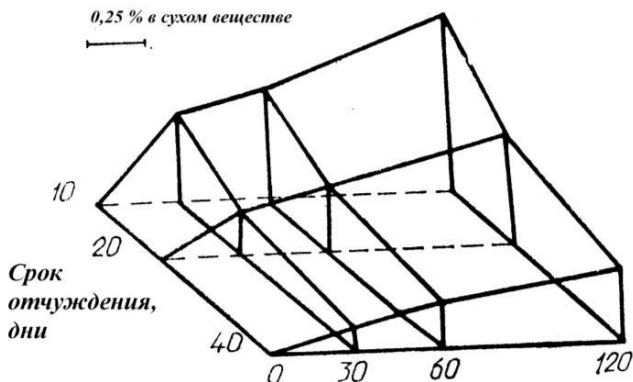


Рис. 5.8. Содержание нитратов в многолетних травах в зависимости от сроков уборки урожая на фоне N_{30-120}

Если проследить за накоплением нитратов отдельными органами растений, то минимальное количество их находится в плодах, семенах. В зерне озимой ржи и ячменя даже при внесении высоких доз жидкой органики содержание NO_3 в наших опытах было низким и не превышало 5–10 мг на 1 кг сухого вещества. И, наоборот, в побочной продукции (солومه) количество нитратов возрастало в десятки раз. Это в равной мере относится и к кукурузе, где основная часть этих соединений накапливается в стеблях, а не в початках и листьях.

На качестве растительной продукции сказывается и тип почвы (рис. 5.9, 5.10). При прочих равных условиях корма, заготавливаемые на торфяниках, содержат больше нитратов, чем на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах, что обусловлено различием их азотного режима. Органогенные почвы, как правило, богаче усвояемыми формами азота, чем минеральные. Это следует учитывать при определении норм удобрений, хотя в любом случае вносить с животноводческими стоками свыше 300 кг/га азота нецелесообразно из-за возможного загрязнения кормов токсичными соединениями, причем для самих растений высокая концентрация нитратов безвредна, чего нельзя сказать о животных.

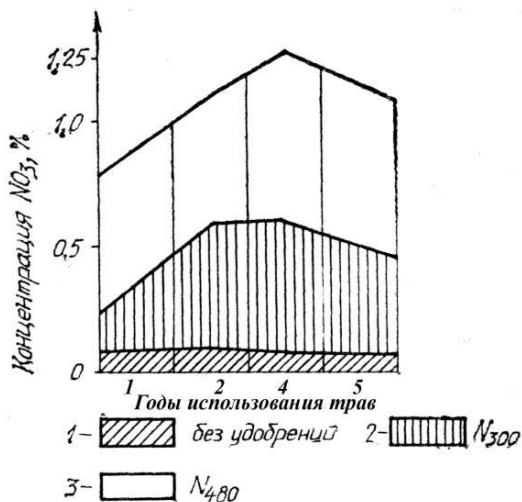


Рис. 5.9. Содержание нитратов в сухой массе трав на торфяно-глеевой почве в зависимости от норм азота животноводческих стоков

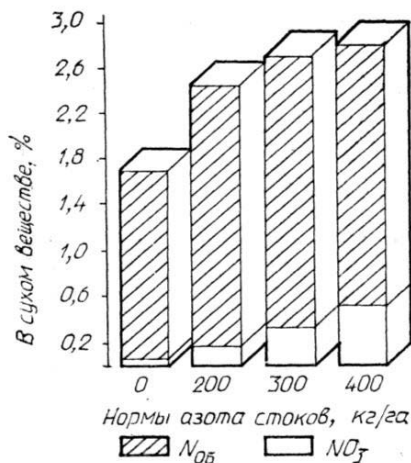


Рис. 5.10. Содержание общего азота и нитратов в многолетних травах на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Независимо от типа почв максимальным количеством NO_3 характеризуются корма, получаемые на участках с выраженным микрорельефом. Содержание нитратов в травах достигало здесь 1,5–1,8 %. Это объясняется как обилием азота в микропонижениях, так и развитием сорной растительности, где много токсических соединений. Так, при внесении около 300 кг азота в кострече безостом содержалось 5623 мг/кг NO_3 , а в крапиве и осоте розовом – соответственно 10 660 и 19 050 мг. Поэтому без уничтожения сорной растительности и своевременного перезалужения трудно рассчитывать на улучшение качества кормов в условиях производства.

К осоту по наличию нитратов близок яровой рапс. По этой причине его необходимо размещать на таких торфяных почвах, где нет излишков усвояемого азота. Повышенным содержанием NO_3 отличается и зеленая масса райграса однолетнего.

Имеет значение и структура урожая: листья содержат меньше нитратов, чем стебли. Особенно обогащены токсикантами растительные остатки вблизи почвы. По нашим определениям, травостой, высота которого 0–15, 15–30, 30–45 см, содержал нитратов соответственно 3388, 2188, 1175 мг/кг сухого вещества. Следует вывод: пастбище нельзя стравливать животными «до черна», поскольку это снижает и его продуктивность.

Важно равномерно распределить удобрения по площади, чтобы не было такой пестроты в содержании нитратов в растениях, когда в 3 м от дальнеструйного дождевателя ДД-30 количество NO_3 составляло 4169 мг на кг сухой массы, а при удалении на 20 м от него – в 2,2 раза меньше. То же можно сказать и о внесении жидких органических удобрений на склоновых землях. В этом случае удобрения сосредоточены в понижении и вызывают «занитрачивание» кормов. Содержание NO_3 достигло здесь 5370 мг/кг сухого вещества трав, или многократно больше, чем на верхней и средней частях склона.

С июня 1988 г. на территории Беларуси действуют ПДК, которые составляют (NO_3 мг/кг): зеленая масса – 300 (ныне – 500), сено – 1000, силос и сенаж – 500, травяная мука – 2000, кормовая свекла – 1500, комбикорм для свиней и коров соответственно 300 и 500 [24]. Однако эти нормативы еще далеки от совершенства и требуют корректировки, особенно применительно к травяным кормам [33].

В свое время был предложен новый способ утилизации бесподстилочного навоза с помощью так называемых скользящих полей запахивания (СПЗ). Суть его в следующем: в один прием вносится огромное количество отходов животноводческих комплексов, после подсыхания и заправки поле эксплуатируется в течение пяти лет без дополнительного применения удобрений. Это привело к тому что содержание нитратов в 1 кг сухой массы вико-овсяной смеси на фоне минимальной дозы азота (2,3 т/га) превысило 13 тыс. мг, или многократно больше допустимых пределов. Дальнейшее повышение уровня удобрений, по существу, сделало корм непригодным к употреблению, поэтому к созданию таких полей следует подходить с осторожностью. Подобный способ, по нашему мнению, больше подходит для утилизации твердой фракции бесподстилочного навоза. Нужно только заменять в один прием под заправку многократно меньшие дозы стоков в расчете на азот. В качестве первого приближения можно назвать 400–600 кг/га азота, то есть столько, сколько вносится его с нормой обычного подстилочного навоза в 80–120 т/га. Отметим, что СПЗ лучше создавать на суглинках Витебской области, а не в Полесье, где преобладают почвы легкого гранулометрического состава.

5.4. Орошение животноводческими стоками и качество природных вод

Пристальное внимание к изучаемой проблеме обусловлено огромной ролью воды в окружающем мире. Без нее немислимо ведение сельского и рыбного хозяйства, развитие энергетики и водного транспорта, существование многих видов спорта и отдыха. Всемирная организация здравоохранения считает, что 80 % всех болезней на Земле вызывается загрязненной водой или отсутствием элементарных гигиенических условий, поэтому предотвращение ухудшения качества воды – первоочередная задача всей деятельности человека по оздоровлению внешней среды.

В связи с переводом животноводства на промышленную основу возросла угроза загрязнения воды, что обусловлено утилизацией на ограниченной территории огромного количества бесподстилочного навоза. Основными компонентами экскрементов животных, как известно, являются непереваренная пища, органическое вещество, минеральные соединения азота, фосфора, калия, сульфаты, хлориды и микроэлементы. Кроме того, в них содержатся различные гормоны, стимуляторы роста, антибиотики и другие препараты, добавляемые в корма. Из патогенных микроорганизмов могут присутствовать сальмонеллы и др. В значительных количествах обнаруживаются бактерии фекального загрязнения. Не исключается в стоках и содержание фенолов, серы, дезодорантов, бактерицидов и других соединений, употребляемых для дезинфекции, мытья оборудования и помещений.

Поверхностные воды в районах размещения ЗПО загрязняются главным образом биогенными и органическими веществами, интенсивность поступления которых в водоемы зависит от природных условий и технологии внесения бесподстилочного навоза. При этом грунтовые воды загрязняются, особенно аммонием, содержание которого (сразу после полива) достигает 400 мг/л и более. На загрязнение подземных вод аммонием обращает внимание С.П. Крайнов и другие [12]. Следовательно, переудобренность полей недопустима.

По данным немецких специалистов [36], интенсивность вымывания NO_3 из осушенных низинных болот во многом обусловлена не только нормами удобрений, но и уровнем грунтовых вод (табл. 5.14). Чем ближе они залегают к поверхности почвы,

тем сильнее загрязняются нитратами, несмотря на то что подкормка травостоя проводилась дробными дозами, в три приема.

Таблица 5.14

Содержание NO₃ в грунтовых водах под долголетними пастбищами в среднем за три года, мг/дм³

Вариант	Глубина залегания грунтовых вод, см			
	40	65	90	120
Без удобрений	16,5	10,6	8,8	8,8
3x60N*	84,1	26,1	11,7	11,1
3x150N*	192,9	113,8	36,7	22,2
3x100 м ³ **	89,8	37,8	18,1	12,8

* Минеральные туки, кг/га д. в.

** Жидкая органика из расчета 492 кг/га азота

Интенсивность загрязнения окружающей среды обусловлена также степенью разбавления бесподстилочного навоза водой. Ежегодное внесение на 1100–1800 га около 2 млн м³ биологически очищенных стоков свинокомплекса «Калитянский» Киевской области способствовало вымыванию из почвы минерального азота. По данным М.А. Хвесика [34], в 37 случаях концентрация нитратов в грунтовых водах превышала 100 мг/л.

Водоемы могут загрязняться и фосфором, поступающим с поверхностным стоком с удобряемых полей. С ростом концентрации биогенных элементов ускоряется эвтрофикация водоемов и, как следствие этого, отмечаются дефицит кислорода в воде, гибель рыбы и другие неблагоприятные последствия. Главенствующую роль здесь играет фосфор, который обуславливает смену фитопланктона и появление сине-зеленых водорослей-азотфиксаторов.

Бесконтрольное применение бесподстилочного навоза в земледелии недопустимо, что подтверждается нашими исследованиями на свинокомплексе «Южное» Пинского района. Почвенный покров здесь представлен песчаными и супесчаными дерново-подзолистыми, дерново-заболоченными почвами, а также мелкозалежными торфяниками, подстилаемыми песками. Общая площадь орошения стоками составляет 800 га, часть которой располагается на пойменных землях. Участок осушен закрытым дренажем. Проводящая сеть – открытые каналы. Дренажный сток закачивается в пруд-накопитель насосной станцией. Сброс его напрямую в р. Ясельду осуществляется лишь через три месяца после последнего полива. Для сни-

жения БПК до 6 мг/л сбрасываемые воды аэрируются в аван-камере насосной станции.

Наши исследования [32, 33] на ЗПО свинокомплекса ведутся с 1981 г., хотя вносить жидкую органику начали с 1982 г. Это было сделано с той целью, чтобы иметь фоновую (до полива стоками) характеристику природных вод. Наблюдения показали, что в прямой связи с режимом орошения находилось в почвенно-грунтовых водах содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- . Из компонентов стоков наиболее подвижны хлориды и нитраты. Так, при завышении поливных норм до 500–700 м³/га содержание NO_3^- в почвенно-грунтовых водах на глубине до 1,5 м возрастало до 24–30 мг в 1 л против 4 мг на контрольном участке. Более интенсивно вымывался и кальций. Его содержание на фоне орошения стоками и без удобрений составляло в среднем за годы исследований соответственно 86 и 61 мг/дм³. Это следствие как дополнительного внесения кальция со стоками, так и повышения парциального давления CO_2 в почвенном воздухе при дождевании.

Калия в бесподстилочном свином навозе примерно в два раза больше, чем натрия. Поведение их в почве различно. Калий интенсивнее вовлекается в малый биологический круговорот веществ, поглощаясь растениями, поэтому он по сравнению с натрием вымывается намного слабее. Порядок выщелачивания основных катионов из почвенного профиля при орошении стоками следующий: $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$. Из микроэлементов более выражено вымывание цинка, что согласуется с зарубежными данными [37].

Фиксация фосфора в пахотном слое – обычное явление. По данным зарубежных авторов, даже после 50-летней эксплуатации полей орошения задерживалось почвой 96 % этого элемента. Особенно выражена адсорбционная способность у суглинков. На хорошо проницаемых супесчаных почвах, подстилаемых песками, при высоких нагрузках жидкой органики возможна, хотя и в незначительных размерах, миграция фосфора [9]. В этом случае его содержание в грунтовых водах на глубине 1,0–1,5 м достигло 3,5–4,9 мг/л против 0,3–0,8 мг на фоне внесения оптимальных норм удобрений. Здесь вымывание обусловлено и тем, что глюкозофосфаты и глицерофосфаты, содержащиеся в жидкой органике, обладают более высокой миграционной способностью, чем минеральные соединения этого элемента.

Особую опасность на орошаемых угодьях представляет поверхностный сток. В наших опытах он создавался искусственно путем длительного стояния дождевальной машины на одной позиции. В поверхностном стоке находилось около 139 мг/л общего азота, или почти 30 % от его исходного содержания в поливной жидкости. Более того, потери фосфора в результате поверхностного смыва достигли 17 %. Особенно проявилось это на участках с выраженным микрорельефом, что способствует перераспределению элементов питания по площади. Так, коэффициент варьирования содержания в почвенно-грунтовых водах кальция и нитратов на таких полях возрос почти в пять раз по сравнению с ровной поверхностью. Это лишний раз подтверждает вывод о том, что орошаемые поля не должны иметь микрорельефа.

Миграция азотистых соединений представляет собой сложный процесс, на который влияет как нитрификация, так и денитрификация. Поступающий в почву аммонийный азот стоков окисляется до нитратов. При последующем вымывании они могут подвергаться денитрификации, вследствие чего количество NO_3^- будет снижаться. Именно этим во многом объясняется тот факт, что в дренажном стоке обычно содержится меньше нитратов, чем в почвенно-грунтовых водах. В наших опытах минимальное количество NO_3^- и NH_4^+ попадало в водопроводящий канал, если под каждый из трех укусов многолетних трав вносили по 200 м³/га жидкой органики с общей нормой азота за вегетационный период 270–300 кг. При дальнейшем повышении доз в 1,6 раза вымывание нитратов и аммония с дренажным стоком усиливалось, превышая иногда ПДК. Поэтому, чтобы исключить загрязнение вод, нагрузку жидкой органики на почву следует строго контролировать.

С качеством дренажного стока в определенной связи находится химический состав поверхностных вод. В большинстве случаев в весеннее половодье орошение жидкими органическими удобрениями несколько повышало содержание аммония в водопроводящем канале. Влияние их на качество воды р. Ясельды практически не прослеживается. Концентрация NH_4 (за исключением 1984 г.) была здесь близка к фону, хотя сбрасываемые в реку воды ЗПО содержали в ранневесенний период несколько больше минерального азота. Однако следует иметь в виду и то обстоятельство, что при попадании в реку различных бактерий

ее самоочищение происходит на расстояние 200–300 км от места загрязнения вниз по течению [18]. В связи с этим при устройстве оросительных систем с использованием животноводческих стоков на пойменных землях необходимо особенно тщательно выдерживать рекомендуемый режим дождевания и всю технологию подготовки и обеззараживания жидкой органики.

Не меньший интерес представляют данные о содержании нитратов в грунтовых водах, тем более что речь идет о том, можно ли уберечь их от загрязнения самыми подвижными минеральными соединениями азота. Наши данные показывают, что содержание нитратов в грунтовых водах в первые 2–3 года было ниже ПДК, которая составляет 45 мг/л. Тем не менее контроль за качеством грунтовых вод должен быть усилен, поскольку ухудшение их свойств растянуто во времени на 7 лет и более с момента загрязнения[25].

Кроме того, в поймах рек размыты водоупоры, что создает предпосылки для гидравлической связи между водоносными горизонтами и открытыми водоемами. Поэтому на таких ландшафтах, как ни на каком другом объекте, следует избегать избыточных нагрузок животноводческих стоков. Здесь уже на 5–6-й год из-за внесения избыточных доз (свыше 300 кг/га азота) жидких органических удобрений содержание нитратов в грунтовых водах на глубине около 3–4 м превысило 100 мг/л.

Наблюдается ухудшение экологической обстановки и на территории других хозяйств, в частности в зоне действия свинокомплекса на 54 тыс. голов, принадлежащей УКСХП «Боровица» Ивановского района Брестской области (табл. 5.15). Там увеличилось загрязнение грунтовых вод нитратами, аммонием, органическим веществом и железом, хотя высокая концентрация последнего – обычное явление для подземных вод Беларуси.

Но было бы ошибочным связывать ухудшение качества природных вод только с функционированием животноводческих комплексов. Данные свидетельствуют о том, что нет особых различий в отношении шахтных колодцев, расположенных на различном расстоянии от свинокомплекса «Боровица», по наличию проб питьевой воды с превышением ПДК по нитратам (рис. 5.11). Более того, вблизи села Яечковичи, находящемся в 1,5 км от свинокомплекса, таких проб было меньше, чем в других населенных пунктах [9].

Таблица 5.15

**Загрязнение подземных вод на сельскохозяйственных полях орошения
УКСХП «Боровица»**

Количество анализируемых проб	Процент проб воды с превышением ПДК			
	NH_4^+	Fe общ.	NO_3^-	Окисляемость перманганатная
Весеннее половодье				
29	34,5	34,5	13,8	20,7
Летняя межень				
51	15,7	74,5	15,7	43,1
Осенний паводок				
51	19,6	82,4	9,8	27,5

Примечание. ПДК аммония – 2 мг, железа – 0,3, нитратов – 45, окисляемость перманганатная – 5 мг/л.



Рис. 5.11. Степень нитратного загрязнения шахтных колодцев
Ивановского района Брестской области, %

В результате обобщения многочисленных данных установлено, что более половины биогенных веществ ежегодно выпадают из круговорота и поступают в водные объекты. Широко применяемые в настоящее время способы утилизации и обеззараживания отходов животноводческих комплексов не в полной мере обеспечивают защиту водоемов от загрязнения и нуждаются в усовершенствовании.

Теоретически загрязнение вод можно свести к минимуму, если обеспечить циркуляцию веществ по схеме: почва – корм – животные – отходы животноводства – почва. Однако на практике в результате выпадения веществ из этого цикла (смыв с поверхности почвы, вынос в процессе фильтрации, выщелачивание задержанных почвой веществ) происходит загрязнение грунтовых и поверхностных вод. Степень загрязнения можно оценить, составив материальный баланс веществ: биогенов, содержащихся в навозе, поглощенных почвой и растениями, поступивших в атмосферу и водные источники.

При разработке проектов орошения сточными водами и животноводческими стоками необходимо выполнять расчеты по прогнозированию возможного загрязнения грунтовых и подземных вод и предусматривать создание сети гидрорежимных наблюдательных скважин. Прогнозирование их загрязнения рекомендуется осуществлять по методике ВСЕГИНГЕО. Суть его – в изучении загрязнений подземных вод под массивом орошения и распространения их по водоносному горизонту. Время достижения поливной жидкостью уровня грунтовых вод при свободной безнапорной ее инфильтрации, то есть когда значение коэффициента фильтрации почвогрунтов зоны аэрации превышает значение удельного расхода поливной жидкости, подаваемой на 1 га, или равно ему:

$$T = pH / \sqrt[3]{q^2 K},$$

а при напорной инфильтрации, то есть когда значение коэффициента фильтрации почвогрунтов зоны аэрации меньше значения удельного расхода поливной жидкости:

$$T = H \left[\frac{(1-p)K}{2p} + \sqrt{\frac{(1-p)^2 K^2}{4p^2} + \frac{qK}{p}} \right],$$

где T – время, за которое загрязнения достигнут уровня грунтовых вод, сут.; p – пористость почвогрунтов зоны аэрации, доли

единицы; H – глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли, м; K – коэффициент фильтрации почвогрунтов зоны аэрации, м/сут.; q – расход поливной жидкости, подаваемой на орошение 1 га площади, м/сут., $q = Q/F$; Q – общий расход поливной жидкости, подаваемой на орошение, м³/сут.; F – площадь орошения, м².

Эти зависимости справедливы для случая однородного и анизотропного строения зоны аэрации, характеризуемой постоянными значениями водно-физических констант K и p . В случае неоднородного строения зоны аэрации (многослойный грунт) по этим зависимостям вычисляют время T по каждому слою отдельно, а общее время определяют суммированием.

При расчете минерализации грунтовых вод в результате орошения исходят из положения, что подаваемые на полив животноводческие стоки фильтруются и смешиваются с грунтовыми водами. Причем в межполивной период загрязненные грунтовые воды вытесняются вниз потоком природной воды. В следующий поливной период фильтрующиеся стоки опять смешиваются с грунтовыми водами под массивом орошения. Но теперь уже грунтовые воды состоят из загрязненных вод, образованных в предшествующий поливной период, и природной, вытеснивших частично загрязненные воды.

Концентрация (г/дм³) загрязняющих веществ, в частности нитратов, в грунтовых водах под массивом орошения на любой i -й год после начала орошения составит:

$$C_i = \frac{W_\phi C_\phi + S(L - Vt_n / p)mpC_{i-1} + SVt_n C_0}{LSmp + W_\phi},$$

где W_ϕ – объем профильтровавшихся сточных вод, м³; C_ϕ – средняя концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, г/ дм³; L и S – длина (в направлении естественного потока грунтовых вод) и ширина массива орошения, м; V – скорость движения естественного потока грунтовых вод, м/сут., $V = Ki$; K – коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут; i – уклон естественного потока грунтовых вод; t_n – продолжительность межполивного периода, сут; p – пористость водоносного горизонта; m – мощность водоносного горизонта, м; C_{i-1} – концентрация загрязняющих веществ в грунтовых водах в предыдущем году, г/дм³; C_0 – фоновое содержание загрязняющих веществ в грунтовых водах, г/дм³.

Концентрация загрязняющих веществ в грунтовых водах может уменьшаться благодаря выпадению атмосферных осадков. В таком случае формула примет вид [9]:

$$C_i = \frac{W_\phi C_\phi + S(L - Vt_n / p)mpC_{i-1} + SVt_n C_0 + SLh_{\min}(1 - \sigma)C_a}{LSmp + W_\phi + SLh_{\min}(1 - \sigma)},$$

где h_{\min} – минимальная норма годовых осадков, м; C_a – концентрация загрязняющих веществ в атмосферных осадках, г/дм³; σ – коэффициент стока осадков.

При орошении сточными водами наиболее подвержен загрязнению первый от поверхности водоносный горизонт. При наличии оттока воды из этого горизонта загрязнения распространяются в основном вниз по потоку воды. Расстояние (м), на которое могут распространяться загрязнения грунтовых вод, определяется по формуле:

$$X = \frac{Ki_i T}{p},$$

где K – коэффициент фильтрации водоносной толщи грунта, м/сут; i_i – градиент напора потока грунтовых вод под массивом орошения; p – пористость водовмещающей толщи; T – время, за которое загрязнения распространятся на расстояние X , сут.

Зная расстояние участка орошения вниз по потоку воды до места водозабора, можно определить время, за которое загрязнения достигнут его: $t_x = L/X$, где L – расстояние от участка орошения до водозабора.

Схема размещения гидрорежимных наблюдательных скважин зависит от местоположения и площади оросительной системы, глубины залегания грунтовых вод и строения водоносной толщи, направления и скорости движения грунтовых вод, расположения водозаборов подземных вод. Расстояние между скважинами обычно принимают 100–200 м, причем от границы орошаемого массива ближайшая скважина должна находиться не далее 100 м.

На основании полученных результатов принимается решение о корректировке схем размещения комплексов и (или) технологических схем утилизации стоков и отходов.

Однако при внесении оптимальных доз жидкой органики поверхностные воды практически не загрязняются, что подтверждает-

ся нашими исследованиями. Аналогичные результаты получены и в условиях Российской Федерации [11].

Исходя из изложенного можно сделать вывод о том, что орошение сельскохозяйственных угодий животноводческими стоками в вегетационный период при соблюдении поливного режима и рекомендуемых норм удобрений не ведет к существенному загрязнению поверхностных и грунтовых вод. При этом азот и другие компоненты жидкой органики аккумулируются в урожае, что предохраняет их от вымывания. В случае внесения избыточных доз бесподстилочного навоза не исключено ухудшение качества природных вод, особенно на массивах с выраженным микрорельефом поверхности.

Кроме биогенов, природные воды могут загрязняться микрофлорой. О.А. Захаровой, Л.В. Кирейчевой, Ю.А. Мажайским [10] приведены бактериологические характеристики сточных вод ОАО «Рязанский свиноплекс», природных вод пруда учхоза «Стенькино» и р. Рака (вблизи полей орошения сточными водами, ниже и выше их). Воды пруда учхоза и р. Рака использовались для полива сельскохозяйственных культур при уменьшении влажности почвы до или ниже ППВ. Как видно из данных таблиц 5.16–5.19, содержание микроорганизмов в изучаемых водах было высоким. Отбор проб производили вблизи орошаемых сточными водами полей, в 300 м ниже и выше по течению в меж- и вегетационные периоды. Коэффициент самоочищения вблизи орошаемых сточными водами полей низкий. Из патогенной микрофлоры в воде обнаружены сальмонеллы в количестве 2–5 в дм^3 .

Таблица 5.16

Бактериологический состав сточных вод пруда-накопителя в вегетационный период, в 1 дм^3

Показатель	1995 г.	1996 г.	1997 г.
1. Индекс лактозоположительной кишечной палочки	2400000	620	2400000
2. Индекс <i>E. coli</i>	13000	13000	13000
3. Индекс энтерококка	230	2400	230
4. Коли-фаги КОЕ	1000	2000	1000
5. Общее количество мезофильных аэробных микроорганизмов, выросших при 37 °С	16×10^5	8×10^5	12×10^5
6. Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, выросших при 22 °С	6×10^5	4×10^5	5×10^5

**Бактериологический анализ природных вод пруда «Стенькино»
в вегетационный период, в 1 дм³**

Показатель	1995 г.	1996 г.	1997 г.
1. Индекс лактозоположительной кишечной палочки	2400	240	2400
2. Индекс E. coli	50	130	50
3. Индекс энтерококка	отсутствует	50	50
4. Коли-фаги КОЕ	отсутствует	50	отсутствует
5. Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, выросших при 37 °С	8x10 ⁴	12x10 ³	18x10 ³
6. Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, выросших при 22 °С	6x10 ³	16x10 ²	15x10 ²

Приведенные в таблицах данные показывают, что использование для полива недостаточно очищенных животноводческих стоков обуславливает загрязнение природных вод. В связи с этим без обеззараживания применение их на сельскохозяйственных угодьях должно быть исключено.

Весной в результате вторичного загрязнения вод вследствие поверхностного стока талых вод с полей наблюдается повышение концентрации микроорганизмов. Содержание коли-фагов – 100, лактозоположительной кишечной палочки – 240000, E. coli – 24000, энтерококка – 1000 в дм³.

После прекращения поливов сточными водами санитарно-бактериологическое состояние вод вблизи полей также не соответствовало норме по количеству лактозоположительной кишечной палочки (70000), E. coli – 13000.

Как показали исследования 1998–2003 гг., качество поверхностных вод несколько улучшилось, что объясняется прекращением поливов сточными водами на больших участках сельскохозяйственных угодий. В апреле, до полива сточными водами, содержание азотных соединений составляло: аммиака – 6,25; 4,5 и 3,0 мг/дм³. В вегетационный период на участках водотока вблизи регулярно орошаемых сточными водами на участках по сравнению с 1997 г. содержание аммиака снизилось до 26 % и составило 8,5 мг, нитратов – на 34 % и составило 6,5 мг, нитритов – на 26 %

и составило 2,8 мг/дм³. В межвегетационный период, после прекращения полива сточными водами, концентрация рассматриваемых соединений составила 9,2; 8,0 и 3,5 мг/дм³.

Таблица 5.18

Санитарно-бактериологическая характеристика поверхностных вод р. Рака в зоне влияния ЗПО (средние данные за 1995-1997 гг.), в 1 дм³

Объект	Индекс лактозоположительной кишечной палочки	Индекс E. coli	Индекс энтерококка	Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, выросших при 37 °С	Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, выросших при 22 °С	Колифаги КОЕ	Коэффициент самоочищения	Степень загрязнения вод при сравнении вариантов
Отбор проб воды р. Рака	вегетационный период (май-сентябрь)							
выше ЗПО	24000	7000	230	0,8x10 ³	1,0x10 ⁴	отсут.	12	слабая
вблизи ЗПО	6240000	6240000	1000	4,0x10 ³	2,0x10 ⁴	6000	5	сильная
ниже ЗПО	70000	70000	260	1,3x10 ³	1,0x10 ⁴	2000	8	средняя
осень (ноябрь)								
выше ЗПО	2400	м50	м50	-	-	отсут.	-	слабая
вблизи ЗПО	70000	13000	260	-	-	100	-	сильная
ниже ЗПО	70000	2000	230	-	-	отсут.	-	средняя
весна (апрель)								
выше ЗПО	7000	м50	м50	-	-	отсут.	-	слабая
вблизи ЗПО	240000	24000	1000	-	-	100	-	сильная
ниже ЗПО	24000	10000	260	-	-	отсут.	-	средняя

Санитарно-бактериологическое состояние вод в вегетационный период улучшилось, коэффициент самоочищения вод вырос на 32 %. В эти годы патогенной микрофлоры в водах не обнаружено.

Таблица 5.19

Санитарно-бактериологическая характеристика поверхностных вод р. Рака (средние данные за 1998-2003 гг.)

Отбор проб по течению	Индекс E. coli	Индекс энтерококка	Индекс лактозоположительной кишечной палочки	Коли-фаги КОЕ	Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, выросших при 37 °С	Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, выросших при 22 °С	Коэффициент самоочищения	Степень загрязнения вод при сравнении вариантов
Вегетационный период (май-сентябрь)								
ниже	2400	200	3500	0	$0,6 \times 10^3$	$0,8 \times 10^4$	13,3	слабая
вблизи	240000	1000	70000	1500	$3,2 \times 10^3$	$2,1 \times 10^4$	6,6	сильная
выше	70000	500	10000	560	$1,8 \times 10^3$	$1,4 \times 10^4$	7,8	средняя
Межвегетационный период (начало октября)								
ниже	1000	1500	100	0	$0,4 \times 10^3$	$0,8 \times 10^4$	20	слабая
вблизи	70000	13000	230	500	$1,2 \times 10^3$	$0,9 \times 10^4$	7,5	сильная
выше	24000	7000	100	100	$0,6 \times 10^3$	$0,6 \times 10^4$	10	средняя
Межвегетационный период (конец апреля)								
ниже	1000	1200	> 50	260	$0,4 \times 10^3$	$0,9 \times 10^4$	22,5	слабая
вблизи	24000	17000	260	260	$1,2 \times 10^3$	$1,0 \times 10^4$	8,3	сильная
выше	7000	13000	260	100	$0,9 \times 10^3$	$0,7 \times 10^4$	7,8	средняя

Таким образом, из-за прекращения орошения сточными водами больших участков полей качество вод р. Рака значительно улучшилось за счет разбавления концентраций загрязняющих веществ и микроорганизмов, а также уменьшения поверхностного стока с орошаемой территории.

В то же время, несмотря на уменьшение объема использования сточных вод, а следовательно, улучшение качественных показателей компонентов окружающей среды, из-за нарушения технологии и режимов орошения (повышенные оросительные нормы сточных и природных вод, неорганизованные сборы и др.), возможно загрязнение грунтовых вод вследствие инфильтрации поливной воды.

Выживаемость микроорганизмов в водах сравнительно небольшая, их путь миграции по водному горизонту невелик и бактериальное загрязнение обычно локализовано на площади, непосредственно приуроченной к источнику загрязнения. По имеющимся данным, время выживаемости микроорганизмов в грунтовых и подземных водах составляет: кишечной палочки и энтерококка – 400 суток, остальных микробов – значительно меньше. Поэтому в поверхностных водах, в основном, обнаружены именно эти виды микроорганизмов. Результаты лизиметрических исследований показывают, что орошение нормой 300 кг/га по азоту изменяют гидрохимический состав лизиметрических вод. Однако через 28–30 суток, то есть к следующему поливу, их качество соответствует допустимым пределам. Прежде всего, это наблюдается на полях орошения с глубоким залеганием грунтовых вод при применении научно обоснованных доз животноводческих стоков.

Расчет годовых норм внесения животноводческих стоков ведется по трем главным питательным элементам – азоту, фосфору, калию. За расчетную годовую средневзвешенную по севообороту норму внесения животноводческих стоков принимается минимальная из трех рассчитанных.

Годовая норма внесения животноводческих стоков, согласно НТП-АПК 1.30.03.01-06, рассчитывается по формуле:

$$M_C = \frac{10^3 \cdot B \cdot K_B \cdot K_{II}}{C_{NPK}}, \text{ м}^3/\text{га},$$

где 10^3 – коэффициент приведения к единой размерности; B – вынос NPK урожаем сельскохозяйственных культур, кг/га; K_B –

коэффициент возмещения выноса NPK из почвы, который учитывает величину использования NPK животноводческих стоков в условиях почв различного механического (гранулометрического) состава, принимаемый для азота на легких почвах (песчаные, супесчаные и легкосуглинистые) – 1,4–1,65, средних (среднесуглинистые) – 1,25–1,35, тяжелых (тяжелосуглинистые и глинистые) – 1,1–1,2, для фосфора и калия на легких почвах – 1,3–1,35, средних – 1,2–1,25, тяжелых – 1,05–1,15; K_{II} – коэффициент, учитывающий потери азота в аммиачной форме: при поливе дождеванием – 0,85, поверхностных способах полива – 0,9, внутрипочвенных – 0,95; C_{NPK} – содержание NPK в животноводческих стоках, мг/л.

Вынос NPK урожаем (В) определяется произведением величины планового урожая и выноса NPK единицей урожая по каждой культуре севооборота с учетом побочной продукции (солома, ботва и т. п.), принимаемыми по данным зональных сельскохозяйственных и агрохимических учреждений и справочным данным.

Содержание NPK (С) в животноводческих стоках определяется по фактическим данным в пробах стоков в накопителях, при отсутствии фактических данных – на основании технологических расчетов.

Годовые нормы внесения стоков под культуры севооборота не должны превышать норм, рассчитанных по общему азоту. Для этого годовые нормы внесения стоков под каждую культуру назначаются путем распределения величины минимальной средневзвешенной по севообороту нормы из трех рассчитанных, пропорционально расчетным годовым нормам внесения азота под культуры севооборота.

Годовые нормы внесения стоков под каждую культуру определяют по формуле:

$$M_i = \frac{M_{C_{\text{ср.взв. min}}}}{M_{C_{\text{ср.взв. N}}}} M_{iN}, \text{ м}^3/\text{га},$$

где $M_{C_{\text{ср.взв. min}}}$ – минимальная средневзвешенная норма внесения животноводческих стоков из трех, рассчитанных по NPK, м³/га; $M_{C_{\text{ср.взв. N}}}$ – средневзвешенная норма внесения животноводческих стоков, рассчитанная по азоту, м³/га; M_{iN} – годовая

норма внесения животноводческих стоков под культуру севооборота по азоту, м³/га.

Для ориентировочных расчётов необходимых площадей сельскохозяйственных угодий допускается норму внесения бесподстилочного навоза и навозных стоков по азоту устанавливать: при орошении до 300 кг, без орошения – до 200 кг/га (НТП 17-99).

5.5. Природоохранные мероприятия в зоне животноводческих комплексов

О необходимости природоохранных мероприятий говорят следующие цифры. Свинокомплекс мощностью 54 тыс. голов ежедневно выбрасывает в атмосферу 578 кг аммиака, сероводорода – 3,1, меркаптанов 8 кг, углекислого газа – 96, пыли –167 кг и миллиарды микроорганизмов (Г.К. Волков, 1989). Основным источником загрязнения воздуха являются сами животноводческие помещения и в меньшей степени сооружения по обработке бесподстилочного навоза. Дальность распространения загрязнений зависит главным образом от метеорологических условий, а также от наличия и густоты древесной растительности. При слабом ветре аммиак и другие газы, выделяемые свинокомплексами, далеко не разносятся. И, наоборот, в ветреную погоду они могут распространяться на расстояние 3–4 км и более, что особенно выражено в безлесных районах. Предприятия промышленного типа по откорму крупного рогатого скота загрязняют атмосферу несколько слабее, чем свинокомплексы. Так, на территории совхоза-комбината «Мир» Барановичского района содержание в воздухе сероводорода, меркаптанов и микробов на расстоянии 3 км от комплекса достигает нормативных значений. В зимнее время жители поселка не ощущают неприятных запахов в радиусе 600 м.

Границы ожидаемого распространения загрязненного атмосферного воздуха (X_1 и X_2 , м) в зависимости от мощности животноводческих предприятий промышленного типа (M , голов) можно определить по следующим формулам (М.А. Мироненко и др., 1980):

$$X_1 = \frac{M + 1862}{4,274} \text{ (для комплексов КРС)}$$

$$X_2 = \frac{M + 10202}{23,64} \text{ (для свинокомплексов)}$$

Чтобы снизить негативное влияние на окружающую среду, воздух, удаляемый с животноводческих помещений и сооружений по обработке навоза, необходимо очищать, а вокруг таких объектов создавать лесозащитные насаждения. Комплексы следует размещать с подветренной стороны по отношению к населенным пунктам. Кроме того, на вентиляционных каналах, выходящих из животноводческих помещений, рекомендуется устанавливать защитные козырьки или изогнутые вниз трубы. Предлагается также сочетать очистку воздуха с его дезинфекцией ультрафиолетовым облучением. Это позволит не только уменьшить пылевую и бактериальную загрязненность воздуха, но и в значительной степени избавиться от неприятных запахов. Белорусским НИИ экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышелесского и другими учреждениями Беларуси рекомендуется использовать в качестве дезинфектанта и дезодоранта лесной бальзам «А», который снижает бактериальную обсемененность воздуха в 2–10 раз и содержание аммиака в животноводческих помещениях в 1,4 раза. В итоге выбросы в атмосферу вредных веществ уменьшаются, что улучшает экологическую обстановку вблизи комплексов.

В системе природоохранных мероприятий важное значение имеет организация санитарно-защитных зон, размеры которых зависят от специализации и мощности животноводческих предприятий (табл. 5.20). Согласно нормативным документам, свиноподкомплексы на 54 тыс. голов и более следует удалять от жилой застройки не менее чем на 2 км. Опрос населения сотрудниками Белорусского научно-исследовательского санитарно-гигиенического института показывает, что это расстояние необходимо увеличить в 1,5 раза. Поэтому в зависимости от местных условий и степени благоустройства комплексов указанные зоны должны корректироваться санитарно-эпидемиологической службой. Регламентируются санитарные разрывы между самим комплексом и очистными сооружениями, которые должны составлять не менее 60 м. И только площадки для карантинирования твердой фракции навоза и компостов допускается размещать в 15 м от животноводческих помещений. Стоки для орошения сельскохозяйственных угодий должны использоваться только с учетом охраны окружающей среды от загрязнений. Проекты на строительство или реконструкцию таких систем в обязательном порядке согласуются с органами Государственного надзора по охране вод, ветеринарной

службой и местной геологической организацией. При этом предпочтение отдается ровным по рельефу участкам, расположенным не в поймах рек, а на водоразделах.

При проектировании таких систем разрабатываются мероприятия по охране окружающей среды. Применительно к России это делается в соответствии с требованием Закона «Об охране окружающей природной среды» и Положениями Минприроды РФ от 18 июля 1994 г. № 222 «Об оценке воздействия на окружающую среду».

Таблица 5.20

Санитарные защитные зоны жилой застройки (НТП 17-99)

Сооружения	Минимальное расстояние от жилой застройки, м
Сооружения обработки бесподстилочного навоза на фермах и комплексах по откорму свиней мощностью:	
до 12 тыс. в год	500
от 12 до 54 тыс.	1500
на 54 тыс. и более	2000
Сооружения обработки бесподстилочного навоза КРС при численности поголовья:	
до 1200 коров	300
1200 коров и до 6000 ското-мест для молодняка	500
6000 ското-мест для молодняка и более	1000
Открытые хранилища (накопители) полужидкого и жидкого навоза для ферм и комплексов:	
всех размеров и направлений (кроме 54 тыс. и более свиней в год)	500
54 тыс. и более свиней в год	2000
биологически очищенная жидкая фракция навоза	500
Площадка для карантинирования подстилочного навоза, компоста и твердой фракции	300

Примечание. Санитарные разрывы от закрытых навозохранилищ до населенных пунктов сокращаются в два раза.

Для устройства земледельческих полей орошения в зоне достаточного увлажнения допускается создание оросительных систем на массивах, коэффициент фильтрации подпахотных горизонтов которых превышает 0,3 м/сут. Лучшими для утилизации

стоков являются почвы среднего гранулометрического состава. На песках и супесях, подстилаемых песками, возможно загрязнение грунтовых вод. На тяжелых почвах из-за низкой их водопроницаемости внесение жидкой органики затруднено. При обосновании выбора участков для ЗПО рекомендуется предварительное районирование территории по условиям защищенности подземных вод в соответствии с Методическими указаниями по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод (М.: ВСЕГИНГЕО, 1980). Приближенным критерием защищенности вод от загрязнений считают «экранирующий слой» из слабопроницаемых грунтов мощностью 10 м и более, залегающих по всей площади, отводимой для орошения стоками. Однако такие массивы не имеют повсеместного распространения, поэтому в каждом конкретном случае необходим прогноз возможных изменений качества подземных вод.

Как влияет естественная защищенность на качество грунтовых вод можно проследить по данным таблицы 5.21.

Таблица 5.21

Химический состав и минерализация грунтовых вод массива орошения сточными водами животноводческого комплекса (М.А. Хвесик, 1991)

Период наблюдения	рН	Сухой остаток	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	НС О ₃ ⁻	Общ. жесткость	ХПК, Мг О ₂ /дм ³
			мг/дм ³										
В условиях естественной защищенности грунтовых вод													
Весна	7,5	184	37,2	2,6	7,9	4,4	0,1	2,6	19,3	16,0	110,0	2,1	4,5
Лето	7,0	154	21,4	12,4	6,5	1,7	1,0	8,0	18,2	24,3	104,0	2,1	6,7
Осень	8,1	106	23,0	5,5	6,2	1,9	0,1	7,5	13,8	4,9	85,1	1,4	3,8
В условиях недостаточной естественной защищенности грунтовых вод													
Весна	7,5	908	129,2	28,9	12,7	3,9	0,2	287,5	98,7	63,4	36,6	8,8	5,9
Лето	6,3	1170	160,7	40,9	13,2	1,1	0,3	255,0	135,4	214,8	30,5	11,4	5,6
Осень	5,2	848	154,3	36,5	14,5	1,4	0,7	460,0	115,7	83,4	12,2	10,7	3,2

В соответствии с ведомственными строительными нормами создание ЗПО недопустимо:

на территории первого и второго поясов зон санитарной охраны источников минеральных вод и источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в месте забора воды; первого пояса и санитарно-защитной полосы водопроводных сооружений, санитарно-защитной полосы водоводов;

в зоне санитарной охраны курортов;

на территории с выходом на поверхность трещиноватых пород и карстов;

над месторождениями подземных вод питьевого качества, не перекрытых водоупорными породами;

в границах водоохраных зон поверхностных и подземных водных объектов.

При выборе площадей для орошения стоками следует учитывать и региональные особенности. Там, где эксплуатационные запасы подземных вод формируются за счет грунтовых и слабо защищены от загрязнения нитратами, местные геологические организации нередко запрещают размещать ЗПО даже в третьем поясе санитарной охраны водозаборов.

В связи с высокой концентрацией в жидкой органике элементов питания полив без ее разбавления может вызвать ожоги и угнетение растений, особенно на ранних стадиях их развития. Исходя из необходимости разбавления отходов животных, промывки трубопроводов и обеспечения полного водопотребления культур обязательным условием утилизации стоков на ЗПО является наличие гарантированного водоисточника, расположенного в непосредственной близости от оросительной системы. Применяются для этой цели поверхностные воды питьевого и технического качества. Допускается использовать очищенные сточные воды предприятий пищевой промышленности (по производству сахара, крахмально-паточных продуктов, дрожжей и т. д.). Возможность совместного применения жидкой фракции бесподстилочного навоза и хозяйственно-бытовых сточных вод населенных пунктов для орошения кормовых культур решается в каждом конкретном случае по согласованию с ветеринарной службой. Следует избегать избыточного поступления в животноводческие стоки сульфатов, хлоридов и других коррозионно-активных соединений, а также натрия, отрицательно влияющего на плодородие почв.

Особого внимания заслуживают водооборотные системы, которые создаются на мелиорированных землях. Дренажный и поверхностный стоки из них аккумулируются в специальных накопителях с целью повторного использования для орошения (рис. 5.12). Если нет дефицита водных ресурсов, объем таких сооружений рассчитывается на аккумуляцию только тех возвратных вод, для которых существует вероятность загрязнения. Что-

бы исключить затопление ЗПО поверхностными водами с выше-расположенной площади водосбора, создается оградительная сеть. Загрязненный сток перехватывается каналами, устраиваемыми вдоль нижней границы орошаемого участка. Дренаж, по нашему мнению, необходимо предусматривать не только на переувлажненных землях, но и на автоморфных песчаных и супесчаных почвах, что позволит избежать загрязнения подземных вод нитратами, хлоридами и другими компонентами жидких органических удобрений.

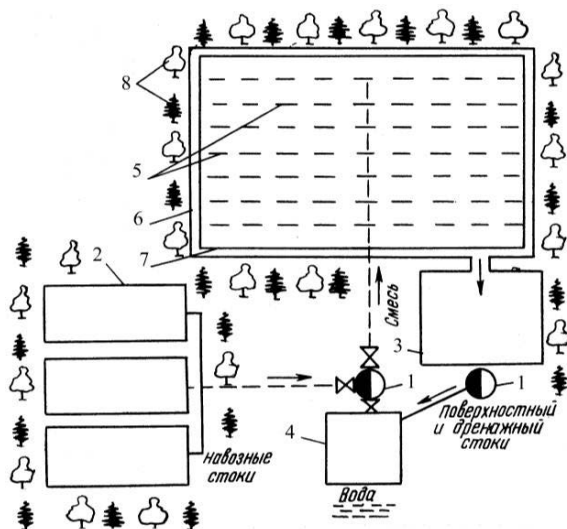


Рис. 5.12. Водооборотная оросительная система:

- 1 – насосная станция; 2 – РОС; 3 – накопитель поверхностного и дренажного стока; 4 – смешивательная камера; 5 – дренажная сеть;
- 6 – обводная сеть; 7 – орошаемый массив;
- 8 – лесозащитные полосы

В практике проектирования и мелиоративного строительства могут приниматься различные решения. К примеру, если орошаемые стоками земли сосредоточены в одном крупном массиве, то обычно создается один пруд-накопитель дренажного стока, как, например, на свинокомплексе «Южное» Пинского и в СГЦ «Заднепровский» Оршанского районов. Возможен и другой случай, когда ЗПО состоит из отдельных участков, разбросанных по территории хозяйства. Здесь приходится устраивать несколько

таких накопителей (РСУП «Красногвардейский» Пуховичского района Минской области). Однако независимо от принимаемых решений дно и откосы этих сооружений, особенно в грунтах легкого механического состава, должны иметь противотрениционный экран из полиэтиленовой пленки или других материалов.

В весеннее половодье дренажный сток из ЗПО обычно сбрасывается в водоприемники, минуя накопители. Но в этом случае он должен удовлетворять требованиям Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, регламентирующих предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде объектов хозяйственно-питьевого или рыбохозяйственного назначения. Допустимое содержание в сбросных водах органических и биогенных соединений определяется с учетом водности объекта, объема сброса, качества воды в водоприемнике выше места сброса, категории водопользования и других условий в соответствии с указанными Правилами.

Ширину водоохранной зоны между границами орошаемых угодий и открытыми водоемами устанавливают в каждом проекте с учетом нормативных требований по размерам водоохранных зон, принятых в каждой отдельной стране. Руслевая полоса используется для берегозащитных посадок водоустойчивых пород кустарника, а прируслевая – засеивается многолетними травами.

Оросительные системы с использованием стоков, как правило, должны располагаться по отношению к жилой застройке с подветренной стороны господствующих ветров в теплый период года и ниже водозаборных сооружений для водоснабжения. При этом рекомендуется выдерживать определенные расстояния между населенными пунктами, производственными зданиями и ЗПО с учетом проектирования лесных насаждений или при наличии лесного массива между ними шириной не менее 15–20 м (табл. 5.22).

Земледельческие поля орошения должны сдаваться в эксплуатацию до завершения строительства животноводческого комплекса. Следует иметь в виду, что понятия «лесной массив» и «запроектированные лесные насаждения» далеко не равнозначны: нужно время, и немалое, чтобы зашумели рукотворные леса. Поливы же стоками по производственной необходимости проводятся сразу после пуска в эксплуатацию животноводческого комплекса. Поэтому при отсутствии естественной лесной растительности, по-видимому, необходимо увеличивать санитарные разры-

вы, особенно между жилой застройкой и ЗПО, по меньшей мере, в 2–3 раза по сравнению с рекомендуемыми в настоящее время. Даже при внесении стоков такой машиной, как ДМУ-Асс «Фрегат», частицы дождя рассеиваются на расстояние 500 м. Причем загрязнение воздушной среды в ветреную погоду усиливается. С учетом этого среднеструйные аппараты следует включать в работу при скорости ветра не более 5 м/с, а дальнеструйные – 3 м/с.

Таблица 5.22

Санитарно-защитные зоны между границей ЗПО и другими сооружениями (НТП-АПК 1.30.03. 01-06)

Способ и техника полива	Расстояние (не менее), м		
	от жилых застроек	от железных и автомобильных дорог общей сети и внутрихозяйственных дорог (кроме дороги категории III-C)	от производственных и животноводческих зданий
Средне- и дальнеструйные машины и аппараты	200	200	200
Короткоструйные дождевальные машины	100	100	100
Полосы и чеки	100	50	60
борозды	60	25	60

Размер санитарно-защитной зоны уточняется расчетами рассеивания загрязняющих веществ (с применением ЭВМ по программам, утвержденным в установленном порядке) в соответствии с п. 8.6 Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (М.: Госкомгидромет, 1987) и ОНД-86.

Лесозащитные полосы должны иметь ширину (в м): вокруг РОС – 8–12, водоисточников природной воды – 5–9, накопителей дренажного и поверхностного стока – 8–12, по границе полей, вдоль полевых и эксплуатационных дорог III категории – 5–9, вдоль автомобильных и железных дорог – 12–15. При этом вокруг автомобильных, железных дорог и водоисточников природной воды конструкция лесонасаждения должна быть непродуваемой, а в остальных перечисленных случаях – ажурной или продуваемой. Защитные лесные полосы необходимо создавать из дре-

весных пород, обладающих наибольшей интенсивностью и емкостью поглощения газов (аммиака): тополя канадского, бальзамического, белого; вяза гладкого, клена полевого, серебристого, рябины.

Своевременная заправка навоза при его внесении мобильным транспортом, разработка и внедрение в производство машин с дождевальными аппаратами для близпочвенного орошения также будут снижать интенсивность загрязнения атмосферы и распространение неприятных запахов и микроорганизмов в воздушной среде. Улучшится санитарная обстановка вблизи животноводческих предприятий промышленного типа, если для использования всего объема бесподстилочного навоза в качестве удобрений будет достаточно площадей. Как показывают наши расчеты, только для утилизации его жидкой фракции, поступающей от свинокомплекса на 54 тыс. голов, необходимо иметь около 1000 га орошаемых кормовых угодий. В случае высокого удельного веса зерновых фуражных культур должна увеличиваться площадь утилизации, по меньшей мере, на 30 % в связи с низким выносом ими биогенных элементов. Фактически же их проектируют гораздо меньше, что ни к чему хорошему не приведет: сегодня выиграем за счет сокращения площадей, а завтра придется вкладывать немалые средства, чтобы сохранить чистыми природные ландшафты в зоне действия животноводческих комплексов.

Негативные последствия внесения избыточных доз жидкой органики на ограниченной территории уже отчетливо проявляются. Особенно ухудшается качество кормов: содержание нитратов, а иногда и калия, многократно превышает допустимые зоотехнические пределы. Чтобы это исключить, необходимо дифференцировать дозы бесподстилочного навоза не только по удобрительной ценности, но и по объему в зависимости от типа почв, возделываемых культур и других факторов. Даже при орошении многолетних трав на дерново-подзолистых суглинистых почвах нормы стоков в расчете на азот не должны превышать за вегетационный период 240–270 кг/га с внесением их дробно (по 150–200 м³) под каждый укос. На супесях такие дозы допускаются в том случае, если уровни грунтовых вод находятся глубже 1,7–2,0 м или на осушенных массивах с водооборотной системой.

Для конкретного участка доза уточняется на основе почвенной диагностики. Дальнейшее повышение нагрузки стоков

способствует накоплению в пахотном слое подвижного фосфора, минерального азота, натрия, марганца, цинка и меди. При внесении рекомендуемых доз стоков содержание подвижных форм ТМ в почве не превышает ПДК [31]. При этом каждый килограмм азота стоков обеспечивает получение около 13–19 кг сухой массы многолетних трав. По мере повышения доз стоков снижается их окупаемость прибавкой урожая в расчете на 1 кг питательных веществ.

При назначении срока полива следует учитывать карантинный период между последним поливом и уборкой урожая. Этот срок уточняется в каждом конкретном случае с учетом степени подготовки животноводческих стоков, вида возделываемых культур, способа использования урожая и должен быть согласован с местными центрами санитарно-эпидемиологической службы и государственной службы ветеринарного надзора. Как правило, карантинный срок равен 21 суткам. В районах, неблагополучных по тениаринхозу среди населения и финнозу среди крупного рогатого скота, они должны перерабатываться на травяную (витаминную) муку, гранулы или закладываться на сенаж с использованием его для корма животных не ранее чем через 3 месяца. При отсутствии подобных заболеваний их убирают на силос или сенаж, поскольку заготовка травяной муки – очень энергоемкое производство.

Особого внимания требует контроль за наличием нитратов, так как высокое их содержание ухудшает качество кормов. Избыточное внесение стоков способствует накоплению NO_3 в зеленой массе возделываемых культур. И только при дозе азота осветленной фракции до 200 кг/га, применяемой дробно под каждый укос трав, содержание нитратов не превышает ПДК.

При внесении за вегетационный период 300 кг/га азота стоков наблюдается некоторое превышение этого показателя, хотя в процессе силосования зеленой массы трав содержание нитратов снижается. Однако дальнейшее увеличение нагрузки жидких органических удобрений должно быть исключено, как требует «Руководство по применению экологически безопасных норм...».

Качество урожая кормовых культур, возделываемых на полях орошения жидкой фракцией навоза, контролируется соответствующей службой комплекса. Корма должны подвергаться полному зоотехническому анализу. Особенно необходимо следить за

содержанием калия в травах на фоне стоков крупного рогатого скота, где нередко он накапливается в избытке (свыше 3 % на сухое вещество). Это, в свою очередь, ухудшает сбалансированность корма по одно- и двухвалентным катионам, что не лучшим образом сказывается на здоровье животных.

Важно соблюдать и другие условия. К примеру, интенсивность искусственного дождя должна соответствовать впитывающей способности почв, иначе формируется поверхностный сток, особенно на площадях с выраженным микрорельефом. В связи с этим планировка и выравнивание поверхности – обязательные приемы на орошаемых землях, способствующие ликвидации бессточных (замкнутых) понижений и созданию продольных уклонов в пределах 0,005–0,02. Не следует допускать поверхностного стока и при вывозке жидкой органики мобильным транспортом: ее нельзя вносить на участки с уклоном более 3°, особенно в зимнее время, иначе эффекта от внесения бесподстилочного навоза не получится, а потеря элементов питания и загрязнения природных вод избежать невозможно.

Утилизация стоков в земледелии осложняется из-за нарушения структуры севооборотов на орошаемых землях. Стало чуть ли не правилом в ряде хозяйств республики возделывать зерновые культуры. Но озимая рожь или ячмень в дополнительном увлажнении обычно не нуждаются. Да и удобрительные поливы на них ограничены. Поэтому и бездействуют на таких полях дождевальные машины, создавая немало помех при уборке урожая зерновыми комбайнами, и хозяйства вынуждены вносить избыточное количество стоков на другие поля. Отсюда поливы по принципу «где густо, а где пусто». Это существенно снижает эффективность орошения, и, что еще хуже, на перудобренных участках почва теряет свою способность обеззараживать жидкую органику и сама загрязняется.

Напомним, что без повышения урожайности кормовых культур водоохранного эффекта ожидать также не приходится. Дело в том, что только высокопродуктивный травостой способен использовать практически все питательные вещества, поступающие на поля со стоками. В противном случае азотсодержащие соединения из корнеобитаемого слоя почвы будут вымываться. Особенно недопустимо так называемое вневегетационное орошение на песках и супесях, которое все еще применяется в некоторых хозяйствах.

Выигрывает окружающая среда и экономика, если орошаемые стоками угодья сосредоточить при самом животноводческом комплексе или в одном-двух близко расположенных от него хозяйствах. Дробление ЗПО на участки площадью 20–50 га и передачу их отдельным предприятиям нельзя признать рациональным хотя бы потому, что продуктивность таких земель нередко снижается, а следовательно, усиливается и вымывание компонентов стоков. Причины – недостаток квалифицированных специалистов и специальных сельскохозяйственных машин, отсутствие надлежащего агрохимического обслуживания и нарушение агротехники возделывания культур и т. д. Эти вопросы проще и эффективнее решаются при концентрации орошаемого земледелия и контроле за динамикой, химическим и бактериологическим составом грунтовых вод на земледельческих полях орошения.

5.6. Биоинженерные сооружения и мероприятия по охране вод, принципы их создания и функционирования

В условиях Беларуси использование жидкой фракции стоков на орошение осуществляется в основном на землях, осушенных гончарным дренажем, основным назначением которого является отвод избыточных вод. Наличие осушительной сети позволяет одновременно осуществлять перехват загрязненного дренажного стока с аккумулярованием его в пруде-накопителе.

В силу того, что дренажный сток, как правило, загрязнен аммонием и другими соединениями, сброс его в открытые водоемы недопустим.

Для улучшения впитывающей способности суглинистых почв необходимо перед залужением участка проводить разуплотнение подпахотного слоя, кротование и после залужения по мере надобности – щелевание. Для этой цели, как показывают исследования БГСХА, можно использовать также специальный водоналивной каток, по окружности которого шарнирно установлены зубья. С их помощью в дернине трав делаются вертикальные проколы диаметром 16–20 мм, где в процессе дождевания и задерживается поливная жидкость.

Для предотвращения просачивания биогенных элементов в нижележащие горизонты объем жидкой фракции стоков, вноси-

мой за один прием, не должен превышать величины водоудерживающей способности корнеобитаемого слоя почвы.

Для доочистки возвратных вод (дренажного и поверхностного стока) можно использовать также полив напуском по склону, устроенному на связных почвах [9] (рис. 5.13).

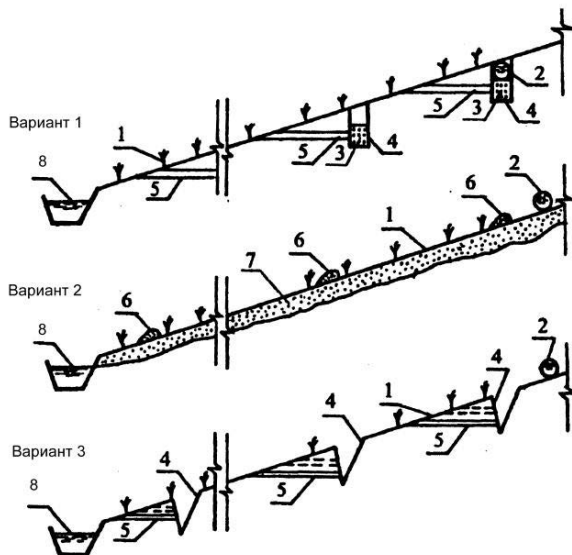


Рис. 5.13. Земледельческие поля орошения для доочистки возвратных вод:

- 1 – засеянный склон; 2 – ороситель; 3 – водопоглощающий материал;
- 4 – траншея (борозда); 5 – кротовина; 6 – пористые валики;
- 7 – разрыхленный слой; 8 – перехватывающая (водосборная) канава.

Первый вариант конструктивно выполняется на склоне, засеянном травой, и содержит ороситель, представляющий собой, например, перфорированный трубопровод, уложенный поверх слоя водопоглощающего материала в траншею (или борозду), нижняя часть которой соединена с дневной поверхностью склона кротовинами.

Работа на сельскохозяйственном поле осуществляется следующим образом. Очищаемая жидкость подается в ороситель, из которого она фильтруется через водопоглощающий материал траншеи, проходит предварительную очистку от взвешенных частиц и попадает в кротовины. Последние закладываются с уклоном,

обеспечивающим незаиляющие и неразмывающие скорости движения воды в них. Протекая по кротовинам, загрязненная вода взаимодействует с почвой и выходит по ним на поверхность склона. Затем она перехватывается траншеей с водопоглощающим материалом и процесс повторяется, что в конечном итоге обеспечивает доочистку стоков. Второй вариант земледельческого поля орошения также располагается на склоне, засеянном травой, поперек которого выполнены пористые засеваемые валики из смеси равных частей торфа, песка и растительной массы.

Для обеспечения почвенной очистки поверхность склона разрыхлена на глубину перегнойного горизонта, а подстилающий слой уплотнен. Очистка загрязненного поверхностного стока происходит в результате фильтрации его через пористые валики, а также перемещения по разрыхленному перегнойному горизонту и поверхности почвы.

Особенностью третьего варианта является наличие на засеянном склоне кротовин. Их выполняют в несколько ярусов таким образом, чтобы они соединяли поверхность склона с перехватывающими траншеями, располагающимися поперек склона, причем кротовины устроены с различным уклоном. В верхней части склона кротовины нижнего яруса выполнены с положительным уклоном, среднего – с нулевым, а верхнего – с отрицательным. В нижней части склона все кротовины имеют отрицательный уклон. Здесь может очищаться жидкость, загрязненная большим количеством взвешенных веществ, после этого она попадает в перехватывающую канаву, расположенную в нижней части склона, а из нее – на орошение, технические цели или на сброс. После заиления всех кротовин и перехватывающих траншей поле перепахивается и используется для выращивания сельскохозяйственных культур.

В плане траншеи выполняются поперек склона приблизительно параллельно его горизонталям. Число ярусов траншей принимают в зависимости от требуемой степени очистки (не менее 2–3). Допустимые уклоны поверхности должны быть 0,2–0,04, оптимальная глубина траншей – 0,6–1,0 м.

Кротовины выполняются перпендикулярно траншее (при больших уклонах поверхности с целью увеличения длины кротовины допускается закладывать их под углом к траншеям). Расстояние между кротовинами должно быть 1–1,5 м. Они должны

соединять нижнюю часть траншеи с дневной поверхностью склона, причем уклон их принимают в пределах 0,002–0,005. Расстояние между траншеями определяется из соотношения:

$$B = t(i_1 - i_2)l,$$

где B – расстояние между траншеями, м; t – глубина траншей, м; i_1 – уклон поверхности склона; i_2 – уклон дна кротовин; l – технологический запас на аэрацию стоков и очистку их растениями, который принимается в пределах 10–15 м.

Ориентировочные параметры поливного участка приведены в таблице 5.23. В ней указана длина склона, необходимая для наибольшей очистки стоков (применительно к возвратным водам допустимо ее уменьшение в 1,5–2 раза).

Таблица 5.23

Параметры поливного участка сельскохозяйственного поля орошения для очистки сточных и доочистки возвратных вод (1 вариант)

Уклон поверхности склона	Средняя длина кротовин, м	Расстояние между траншеями, м	Требуемая длина склона, м
0,2	5	16-20	80
0,15	7	18-22	75
0,1	10	19-23	70
0,08	12	20-24	65
0,06	18	23-27	60
0,04	26	29-33	60

В качестве водопоглощающего материала можно использовать торф и солому (или пожнивные остатки). Причем первую траншею заполняют соломой до распределительного трубопровода оросителя, который укладывают поверх соломы так, чтобы расстояние от его верха до дневной поверхности склона составляло 0,2–0,3 м. Поверх распределительного трубопровода укладывают солому слоем 0,05–0,1 м и торф слоем 0,1–0,2 м. Траншеи остальных ярусов заполняют соломой слоем 0,4 м, а затем торфом до дневной поверхности склона.

В состав поливного участка, выполненного по второму варианту, входит засеянный травой склон, перегнойный горизонт которого разрыхлен перед посевом трав. На поверхности склона выполнены засеваемые валики из смеси торфа, песка и растительной массы.

В плане валики выполняют поперек склона приблизительно параллельно его горизонталям. Число валиков принимают в зависимости от требуемой степени очистки (не менее 3–5). Они выполняются высотой 0,15–0,25 м с коэффициентом заложения откосов $m \geq 5$ и засеваются травосмесью с нормой высева, увеличенной в 1,5–2 раза. Первый валик от трубопровода представляет собой смесь крупнозернистого песка и торфа в соотношении 1:1, второй – в соотношении 1:2, третий и последующие валики – в соотношении 1:3, а последний – соответственно 2:1.

В зависимости от уклона поверхности ориентировочно параметры поливного участка можно принять по таблице 5.24.

Таблица 5.24

Параметры поливного участка сельскохозяйственного поля орошения для очистки сточных и доочистки возвратных вод (2 вариант)

Уклон поверхности склона	Расстояние между траншеями, м	Требуемая длина склона, м
0,02	8-12	30
0,04	8-12	50
0,06	8-12	75
0,08	6-10	100
0,10	6-10	130

* Для доочистки возвратных вод допустимо уменьшение длины склона в 1,6–2 раза.

Участки для устройства данной системы выбирают на слабодопроницаемых почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава, имеющих достаточную защищенность подземных вод от загрязнения. Суточная нагрузка стоков на 1 га площади поливного участка зависит от природных условий и состава стоков и обычно составляет около $500 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки.

При подготовке участка производят планировку, уборку камней и другие работы по поверхностному улучшению. Для создания плотного травяного покрова норма высева семян увеличивается также в 1,5–2 раза. В состав многолетних злаковых трав следует включать канареечник, мятлик луговой и другие влаголюбивые травы. Эффективность очистки на этих полях очень высокая. В частности, БПК₅ снижается на 95 %, происходит практически полная очистка от взвешенных веществ.

Дренажные и поверхностные воды сельскохозяйственных полей орошения вследствие их загрязненности биогенными элементами

предусматривается аккумулировать в прудах-накопителях, где под действием естественных условий происходит их частичная доочистка.

Для улучшения ситуации необходимо также создавать биоинженерные сооружения (БИС). Они представляют собой каскад сооружений, где очистка сточных вод происходит за счет фильтрации, седиментации, аэрации, поглощения биогенных элементов высшей водной растительностью и микробиоценозом, а также за счет влаголюбивых растений, произрастающих на склоновой площадке (рис. 5.14).

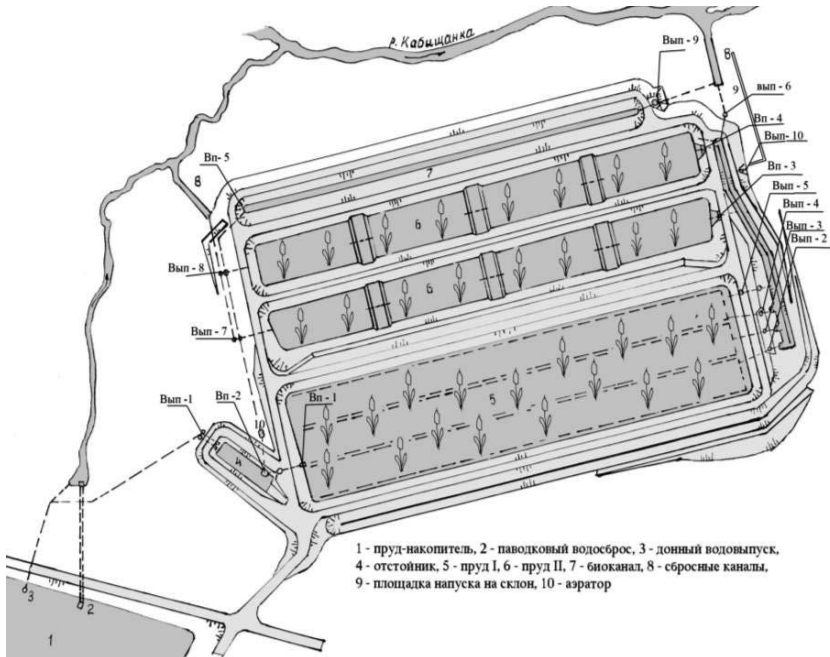


Рис. 5.14. Схема биоинженерных сооружений (БИС)

Основными параметрами, определяющими эффективность очистки вод в БИС, являются их геометрические размеры, мощность и фильтрационные характеристики песчаной загрузки, подбор макрофитов, высота слоя воды в БИС и необходимое время контакта сточных вод с искусственно созданным биогеоценозом.

Площадь биоинженерных сооружений определяют по формуле:

$$F = Q \cdot m \cdot [K_{\phi} (H - h)]^{-1},$$

где Q – расход очищаемых сточных вод, подаваемых в БИС, м³/сут.; m – мощность фильтрующего слоя песка, м; H – высота слоя воды в БИС, м; h – превышение уровня воды (м) в сбросном колодце (поддерживаемое регулятором уровня) над поверхностью фильтрующей толщи в БИС; K_{ϕ} – условный коэффициент фильтрации, определяемый по формуле:

$$K_{\phi} = m^2 \cdot [T_k (H - h)]^{-1},$$

где T_k – время контакта очищаемой воды с биогеоценозом БИС.

Необходимое время контакта потока очищаемой воды определяется на основании данных экспериментальных исследований для каждого конкретного ингредиента и соответствующей исходной концентрации. Величина T_k может колебаться от 0,5 до 6–7 суток.

Создание искусственного биоценоза высших водных растений основано на том, что они могут извлекать из воды и грунта не только необходимые биогенные элементы (азот, фосфор, калий и др.), но и другие минеральные макро- и микроэлементы, а также балластные и токсичные вещества, в том числе тяжелые металлы (свинец, никель, хром, мышьяк и др.). То же можно сказать о синтетических поверхностно-активных веществах и даже различных ядохимикатах (гербициды, пестициды и т. д.), если концентрация их в воде не превышает летальных уровней. Помимо этого, они способны поглощать многие органические соединения (фенолы, углеводы, сахара, спирты, танины и др.)

Особенность многих водных растений, в частности тростника обыкновенного, заключается в том, что он способен развивать два типа корней: водные и почвенные. Дополнительные водно-воздушные корни образуются у него в узлах побегов под водой. Осмотическая поверхность густой сети этих корней в зависимости от числа побегов на 1 м² может превышать площадь, занятую растениями, в 5–10 раз. Роль этих корней в очистке вод чрезвычайно велика.

При течении воды через густые заросли полуводных и полностью погруженных растений происходит процесс фитофилт-

рации. Побеги и корни механически задерживают минеральные и органические взвеси, волокна, коллоиды, суспензии, эмульсии, а растворенные в воде вещества в больших количествах поглощаются, трансформируются и инактивируются в растительных тканях, затем аккумулируются в наземной биомассе растений.

Высшая водная растительность (ВВР) оказывает благотворное влияние на кислородный режим водоема. Содержание растворенного кислорода под влиянием растений, особенно погруженных, увеличивается, происходит быстрое окисление органического вещества, ускоряется процесс нитрификации.

Для улучшения качества воды наиболее приемлемы: рогоз широколистный, тростник обыкновенный, манник водный, осока водная, сусак зонтичный, роголистник темно-зеленый, ряска и др.

Конструкция и порядок работы биоинженерных сооружений КУСХП «Северный» следующие.

БИС оснащены регулирующими сооружениями и перепускным каналом, с помощью которого сточные воды после первой ступени очистки можно подать в пруды второй ступени очистки или на склон, поросший травяной растительностью, для сброса их в водоприемник. Забор сточных вод в пруды второй ступени очистки осуществляется с помощью подземных трубопроводов, оснащенных задвижками, установленными в колодцах.

Отстойник предназначен для отстаивания сточных вод, направляемых на доочистку из донного водовыпуска прудонакопителя, во избежание попадания в БИС твердых включений. Подача вод производится по подземному трубчатому водоводу (рис. 5.15).

Впуск в отстойник осуществляется через две водовпускные поплавковые камеры, которые могут работать совместно или раздельно (Вып – 1). Отвод воды из отстойника может осуществляться двумя водовыпусками, объединенными конструктивно в водозаборный узел (Вп – 2). Первый водовыпуск – для подачи воды в пруд I (Вп – 1), второй – для подачи в биоканал (Вп – 5). Отстойник представляет собой водоем прямоугольной формы, размером 44×12,5 м. Дно и съезд отстойника крепятся железобетонными плитами, заложение откосов 1:3. Для очистки дна от ила предусмотрена въездная аппарель с уположенным откосом для удобства заезда мобильного транспорта. Подача воды из отстойника в пруд I производится через водозаборный узел, представляющий собой успокоительную ограждающую камеру и водоза-

борный оголовок с фиксированным положением водосливной грани. Последняя конструктивно выполнена в виде концентрически установленных труб. Для предотвращения попадания плавающего мусора и гидравлического удара служит внешнее кольцо. Пруд I – водоем прямоугольной формы, длиной по дну 340 м и шириной 80 м, с фильтрующей засыпкой по всей площади бассейна, горизонтальным систематическим дренажем в основании песчаной (фильтрующей) толщи. Для изучения параметров функционирования фильтрующей засыпки мощность ее была различна и составляла 0,4; 0,6; 0,8 м. Для каждой из этих глубин предусмотрены свои выводные коллекторы и сбросные (водоперпускные) сооружения с треугольными расходомерами (Вып – 2, Вып – 3, Вып – 4). В ложе пруда произведена посадка высшей водной растительности для создания биоценоза.

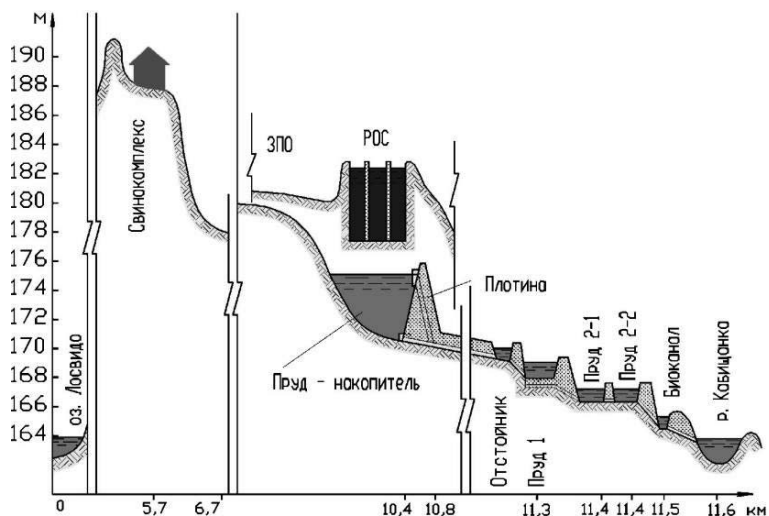


Рис. 5.15. Высотная схема земледельческих полей орошения и БИС

Конструктивные особенности пруда I обеспечивают движение очищаемых вод в горизонтальной плоскости через заросли макрофитов и в вертикальной (в дрены) – через корневищный слой, насыщенный микрофлорой.

Для регулирования уровня воды в пруду I используются резино-тканевые рукава, одним концом насаженные и герметически закрепленные хомутами на патрубках, отводящих воду из дрена-

жа, а другим – подвешиваемые на крючки в колодцах на требуемом уровне. Дренажные воды сбрасываются в перепускной канал. Из него осуществляется подача очищаемых вод в следующую ступень очистки или возможен сброс напрямую (если качество очищаемых вод удовлетворяет нормативным требованиям) в водоприемник или на склоновую площадку (Вп – 10). Для ускоренного сброса вод из пруда I устроен донный водовыпуск (Вып – 5).

Пруд второй ступени очистки состоит из двух секций (пруды П-1 и П-2), разделенных между собой дамбой. Длина прудов равна 340 м, а ширина – 20 м. Подача воды в них осуществляется из перепускного канала по подземным трубопроводам, оснащенный задвижками (для регулирования объема подачи) (Вп – 3, Вп – 4), а отвод воды – водовыпусками на выходе (Вып – 7, Вып – 8). Выпуск очищенных вод из пруда II производится в биоканал или в сбросной канал, связанный с р. Кабищанка. Конструктивно пруды П-1 и П-2 различаются только тем, что в первом из них высшая водная растительность высажена по всему ложу пруда и дамбам, а во втором – только по дамбам.

Биоканал – узкий пруд с растительностью по его берегам. Оснащен водовпуском (Вп – 5) и водовыпуском (Вып – 9) во второй сбросной канал. Водовыпуск состоит из двух водозаборных труб, оснащенных регулирующей арматурой на основе гибких шлангов, расположенных в двух колодцах регулирования. Выпуск воды из них объединяется в один подземный трубопровод.

Пруды БИС располагаются на склоне первой надпойменной террасы р. Кабищанка и построены в полувыемке-полунасыпи. Для предотвращения попадания в пруды поверхностных вод с прилегающей территории комплекс прудов со стороны верхнего склона огорожен нагорно-ловчим каналом.

Разработана комплексная технология эксплуатации биоинженерных сооружений, основанная на регулировании поступления очищаемых вод в зависимости от концентрации веществ, которую определяют в полевых условиях при помощи электропроводности на основании уравнений регрессии: $y_{K^+} = 0,0595x - 17,517$ ($R^2 = 0,93$), $y_{NH_4^+} = 0,1103x - 57,248$ ($R^2 = 0,89$), $y_{PO_4^{3-}} = 0,0199x - 0,1471$ ($R^2 = 0,77$), $y_{\Sigma\text{ионов}} = 0,7192x + 41,523$ ($R^2 = 0,94$) (где y – концентрация химического элемента, мг/л; x – электропроводность мкСм/см). Установлены также параметры, определяющие эффективность очистки возвратных вод ОССВ в био-

инженерных сооружениях, а именно: оптимальный уровень воды для культивирования рогоза широколиственного (*Typha latifolia L.*) – 0,6–0,8 м; содержание в сточных водах аммония не более 80 мг/л и фосфатов – 50 мг/л; коэффициент фильтрации дренажной засыпки не менее 0,14–0,35 м/сут. Функционирование БИС обеспечивает снижение концентрации аммонийного азота в среднем на 85,2 % и фосфатов до 79,7 %, что позволило за шесть лет исключить сброс в водоприемник 32,3 т аммония и 10 т фосфатов.

Экономическая эффективность биоинженерных сооружений прежде всего зависит от количества биогенов, выведенных из геохимического круговорота. За годы исследований она изменялась в пределах 53–113 тыс. долл. США.

С целью снижения загрязнения окружающей среды в районах расположения животноводческих комплексов целесообразно выполнить также следующее:

- разработать регламенты по использованию навоза и навозных стоков для крупных свинокомплексов с обязательным контролем баланса основных биогенных элементов (NPK);

- уменьшить выход стоков благодаря использованию менее водоемких систем навозоудаления, строго соблюдать технологию подготовки стоков к поливу, включая их обеззараживание и дегельминтизацию. Наиболее перспективно здесь анаэробное сбраживание отходов животных и получение биогаза, при использовании которого улучшается качество органических удобрений и сокращается поступление парниковых газов в атмосферу;

- нормы жидких органических удобрений в расчете на азот на дерново-подзолистых почвах при орошении даже многолетних злаковых трав не должны превышать 240–250 кг/га с внесением их дробными дозами под каждый укос. При этом зимнее внесение стоков мобильным транспортом должно быть исключено, особенно на склоновых землях;

- нецелесообразно применять калийные удобрения на полях, орошаемых животноводческими стоками, поскольку ухудшается минеральный состав корма в результате неблагоприятного соотношения между одно- и двухвалентными катионами;

- проводить локальный мониторинг экологического состояния почвенного покрова и качества выращиваемой продукции и кормов;

– снизить выброс аммиака вентиляционными системами из животноводческих помещений за счет установки системы фильтрации и освоения технологии внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений;

– не допустить дальнейшего сосредоточения промышленного животноводства на ограниченной территории, для чего при строительстве новых крупных ферм проводить глубокую экологическую экспертизу;

– выполнение плановых заданий по охране природной среды в зоне действия животноводческих предприятий интенсивного типа должно стать таким же ответственным делом, как и другие показатели хозяйственной деятельности (например, экономические, социальные).

5.7. Предложения по организации мониторинга при использовании бесподстилочного навоза

В результате повышенных техногенных нагрузок, нерационального использования природных ресурсов и неэффективных защитных мероприятий увеличиваются площади загрязненных земель, водных объектов и растительности. Причем ареалы загрязнения природной среды охватывают уже не отдельные участки, а целые системы. Установлено, что наиболее напряженная обстановка наблюдается в районах интенсивного земледельческого освоения, вблизи промышленных объектов, крупных животноводческих комплексов.

Интегральная оценка экологического состояния агроландшафтов представляет собой систему непрерывного слежения за параметрами состава, режимов почв и почвенного покрова, качества сельскохозяйственной продукции, природных вод.

Основная цель, которую преследуют мониторинговые исследования, заключается в сборе объективной и полной информации об изменении параметров природной среды в региональном и локальном масштабах. Полученная в результате этого информация является основой для принятия решений по разработке природоохранных мероприятий.

При организации мониторинга следует руководствоваться принципами комплексности и блочности построения. Приоритетность загрязняющих веществ устанавливается по их количеству,

поступающему в окружающую среду в результате антропогенной деятельности, их подвижности, токсичности, способности накапливаться в природных объектах, трансформироваться в более опасные соединения.

При организации мониторинга земель, на которых осуществляется утилизация сточных вод и животноводческих стоков, как правило, проводится систематический контроль загрязнений атмосферного воздуха, природных вод, земель и растениеводческой продукции. Система контролируемых показателей представлена в таблице 5.25.

Таблица 5.25

**Система показателей мониторинга на агроландшафтах
с животноводческими комплексами**

Показатели	Параметры
Почвы	
Баланс питательных веществ	Содержание N, P, K и Ca в почвах, бесподстильном навозе, химических мелиорантах, растениях
Баланс гумуса	Содержание гумуса и периодическое его изменение, скорость минерализации
Физическое состояние	Плотность, влагоемкость, водопроницаемость, скважность
Биологическая активность	Биологическая токсичность и степень активности микроорганизмов
Санитарно-гигиеническое состояние	Содержание в почве химических веществ и микроорганизмов
Растения	
Рост и развитие	Фенологическая и биометрическая оценки
Минеральное питание	N, P, K в органах онтогенеза. Соотношение белкового и небелкового азота
Продуктивность	Урожайность, структура урожая
Санитарно-гигиеническое состояние	Содержание веществ и элементов, допустимых в определенных количествах (нитраты, нитриты, микроэлементы, ТМ)
Воды	
Гидрометеорологические	Сезонность осадков в году, их среднемесячное и среднемноголетнее количество, температура воздуха, режим уровней воды в водотоках
Физико-химическое, химическое и микробиологическое состояние	Содержание минеральных соединений (NO ₃ , NH ₄ , P, K, Ca), микроэлементов и загрязняющих веществ

В систему входят следующие параметры:

- почвенного покрова (плотность и структурное состояние пахотного и подпахотного горизонтов, содержание гумуса в пахотном слое, мощность пахотного слоя, степень водной и ветровой эрозии, микрорельеф поверхности, сроки и продолжительность затопления угодий талыми паводковыми и дождевыми водами, периодичность и продолжительность переувлажнения почв);

- режима и качества грунтовых и подземных вод (глубина залегания, минерализация, рН и химический состав, содержание загрязняющих веществ);

- качества продукции растениеводства (содержание элементов, определяющих пищевую ценность, и загрязняющих веществ);

- внешнего фона (гидрометеорологические показатели, содержание загрязняющих веществ в осадках и природных водах).

Кроме того необходимо контролировать и состояние воздушного бассейна (табл. 5.26). Для снижения загрязнения атмосферного воздуха, уменьшения распространения неприятного запаха и микроорганизмов необходимо проводить своевременную заправку навоза после его внесения, использование дождевальных машин с насадками и агрегатами для близпочвенного дождевания.

Мониторинговые наблюдения на землях, орошаемых стоками животноводческих комплексов, включают в себя полевое обследование, лабораторный анализ и обобщение полученных результатов. При этом должны быть решены следующие основные задачи:

- выявлены закономерности пространственного и внутрипочвенного распределения загрязненности земель, проявление других неблагоприятных изменений водно-физических, агрохимических и иных свойств;

- установлена степень загрязненности природных вод (поверхностных, почвенно-грунтовых, подземных);

- исследованы качественные показатели растениеводческой продукции, ее токсичность для животных и человека;

- разработана система природоохранных (агротехнических, агромелиоративных, лесомелиоративных, гидромелиоративных и др.) мероприятий по ликвидации последствий загрязнения.

Показатели мониторинга атмосферного воздуха

Показатели	Параметры
Характеристика категории опасности предприятия	Параметр П, определяемый в соответствии в соответствии с ОНД 1-84
Количество вредных веществ, отходящих от всех стационарных источников выделения в воздушный бассейн	
Количество уловленных и обезвреженных на предприятиях вредных веществ	
Источник теплоснабжения предприятия и вид потребляемого топлива	
Существующие фоновое загрязнение	Пыль (взвешенные вещества), диоксид серы, оксид серы, оксид углерода, диоксид азота
Величина существующего валового выброса вредных веществ в воздушный бассейн	
Норматив по выбросу загрязняющих веществ по ингредиентам	

В связи с тем что земли, на которых утилизируются животноводческие стоки, могут находиться в зоне влияния других техногенных источников загрязнения, основными загрязняющими ингредиентами являются макроэлементы N, P, K, Fe, Ca, Mg, Na, S и др.; микроэлементы Cr, Mn, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb и др.; сложные органические соединения (фенол, бензол, бензопирен, СПАВ, нефтепродукты и др.).

Мониторинг земель на агроландшафтах с животноводческими комплексами включает в себя систему наблюдений, оценки и прогнозирования изменений почв в результате систематического внесения навоза и его фракций. Ведение мониторинга земель в этом случае осуществляется в системе: почва – почвенно-грунтовые (дренажные) воды – растения. Работа проводится на стационарных ключевых участках и мониторинговых маршрутах.

Ключевые участки не менее двух для одного животноводческого комплекса) и мониторинговые маршруты (не менее одного от каждого ключевого участка) должны быть заложены на

наиболее типичных почвенно-ландшафтных территориях. При этом ключевые участки закладываются непосредственно на земельно-сельскохозяйственных полях орошения стоками животноводческих комплексов, а мониторинговые маршруты должны прокладываться от ключевых участков до территорий, не испытывающих влияния стоков с животноводческого комплекса по наиболее вероятным направлениям миграции подвижных ингредиентов жидкого навоза.

На мониторинговым маршруте делается от 2 до 5 пунктов отбора проб почвы, почвенно-грунтовых, дренажных вод и растений. Пункты отбора проб отмечаются на плане местности. На ключевых участках и мониторинговых маршрутах ежегодно один раз в сезон (зимой, весной, летом, осенью) ведутся наблюдения за содержанием наиболее динамичных ингредиентов в почвах, почвенно-грунтовых, дренажных водах и растениях.

Динамичными ингредиентами, за которыми должен вестись систематический контроль, являются фосфор, калий, кальций, магний, натрий, цинк, медь, молибден, свинец, кадмий, марганец, а также ионы аммония, нитратов, нитритов, сульфатов, гидрокарбонатов и хлора.

Содержание биогенных элементов – фосфора, калия, а также аммонийного и нитратного азота по сезонам года рекомендуется проводить в пахотном и подпахотном слоях до глубины 40 см, остальные ингредиенты определяются только в пахотном слое. Отбор проб производится по стандартным методикам.

Основными критериями для оценки степени загрязнения почв служат предельно допустимые концентрации химических веществ в почве.

Основными источниками поступления химических и бактериальных загрязнений с полей утилизации сточных вод в водные объекты являются воды поверхностного и дренажного стока.

Воды поверхностного стока формируются на водосборах в периоды снеготаяния и летне-осенних дождевых паводков. При этом на режим стока химических веществ большое влияние оказывают распределение стока на рассматриваемой территории, его внутригодовой режим и изменчивость. Концентрация растворенных веществ зависит от того, является водный сток дождевым либо снеговым.

Основная часть годового стока приходится на период весеннего половодья. В этот же период выносятся и наибольшее количество химических веществ.

Дренажные воды, поступающие в водные объекты, формируются на дренируемых территориях. Наибольшие их объемы сбрасываются с апреля по сентябрь, а минерализация варьирует в широких пределах. На объем и химический состав дренажного стока влияют: площади дренируемых территорий, гидрогеологические условия, произрастающие культуры, режим технологии утилизации сточных вод, физико-химические свойства почв.

Изучение загрязненности водных объектов включает в себя:

– установление химического состава сточных вод и оценку их пригодности;

– изучение происходящих изменений химического состава поверхностных, дренажных, подземных вод.

При составлении программы наблюдений необходимо собрать и проанализировать следующую информацию: местоположение и площади утилизации сточных вод; карту гидрографической сети; схемы орошаемых полей с указанием мест, где происходит сброс дренажных вод; режим, сроки и способы внесения сточных вод на поля; гидрогеологическую характеристику территории и условия залегания подземных вод.

После сбора и обработки указанной информации проводятся рекогносцировочные наблюдения. Цель этих исследований заключается в уточнении ранее собранных сведений и предварительной оценке химического состава сточных и сбросных вод.

На основании рекогносцировочных наблюдений разрабатывается программа систематических наблюдений. При этом первоочередным является состояние карты-схемы размещения наблюдательных створов.

Чтобы определить влияние орошения сточными водами на загрязнение речных вод, пробы отбирают в створах, расположенных выше орошаемого массива на 0,2 км и ниже на 1 км. Отбор проб поверхностных вод делают весной один раз, летом – 2–3 раза, осенью – один раз.

Для контроля влияния орошения сточными водами на подземные воды отбор проб осуществляют из сети наблюдательных скважин, расположенных на участке орошения и вне его. Отбирают пробы из скважин в начале снеготаяния, во время интенсивных поливов, через 10 дней после полива, осенью в период затяжных дождей. В местах наибольшего загрязнения (участки около прудов-накопителей, биологических прудов, буферных и иловых площадок и т. д.) отбор проб можно делать чаще.

Различают простую и смешанную пробы. Вид отбираемой пробы определяется целями исследования.

Простая проба характеризует состав воды в данный момент времени в данном месте. Ее получают однократным отбором требуемого количества воды.

Смешанная проба характеризует средний состав воды за определенный промежуток времени в определенном объеме. Ее получают смешением простых проб, взятых одновременно в одном и том же месте через определенные промежутки времени (усреднение).

При проведении массовых анализов различают среднемесячную, среднесуточную и среднепропорциональную смешанные пробы. Среднесменная и среднесуточная пробы готовятся смешением равных по объему проб, отобранных через равные промежутки времени. Средняя пропорциональная проба готовится смешением объемов воды, пропорциональных величине расхода, отобранных через равные промежутки времени.

Методика выполнения анализов принимается по действующим ГОСТам, а оценка наблюдений за изменением содержания химических веществ в природных водах проводится по действующим нормативным документам.

В заключение хотелось бы отметить, что при рассмотрении эколого-экономических систем со сложными обратными связями вскрываются области устойчивости параметров и состояния системы. Например, интенсификация производства при неизменной технологии повышает уровень загрязнения окружающей среды, а окружающая среда посредством изменения качества трудовых, сырьевых и других ресурсов влияет на темпы и экономику развития производства. Подобных эколого-экономических обратных взаимосвязей в системе рационального использования, воспроизводства ресурсов и охраны среды множество. Сложность расчета величины эколого-экономических взаимосвязей сопряжена в основном с изменением и определением времени протекания процессов на всех этапах обратных связей системы, поэтому для упрощения исследований иногда целесообразен системный анализ отдельных экономических и экологических показателей. Это позволит выполнить ориентировочное научное прогнозирование развития экологической системы и создать оптимальный программно-целевой план размещения производительных сил.

Литература

1. Адольф Я. Биогазовые установки в Германии // Птицефабрика. – 2007. – №1. – С. 28–29.
2. Асмус Ф. Перераспределение питательных веществ органических удобрений на песчаных почвах с учетом экологических аспектов // Международный агропромышленный журнал. – 1990. – № 2. – С. 78–83.
3. Береснев Б.Г., Нестерович И.А., Магюшина Т.И. Влияние систематического внесения возрастающих доз бесподстилочного навоза в севообороте на плодородие дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. – 1989. – № 9. – С. 50–60.
4. Буряков Н.П., Бурякова М.А. Профилактика нитратных отравлений // Зоотехния. – 1995. – № 5. – С. 13.
5. Волков Г.К. Обеспечить экологическую безопасность комплексов // Зоотехния. – 1989. – № 6. – С. 54–58.
6. Грислис С.В. Влияние орошения навозными стоками на плодородие разных типов почв // Известия ТСХА. – 1996. – Вып. 3. – С. 38–47.
7. Дмитриева В.И. Эффективность почвенной очистки животноводческих стоков комплексов КРС при использовании их на орошение // Очистка и использование стоков животноводческих комплексов. – М.: ВНИИГиМ, 1981. – С. 66–71.
8. Еськов А.И., Духанин Ю.А., Тарасов С.И. Фиторемедиация почв, загрязненных бесподстилочным навозом. – М.: Росинформагротех, 2004. – 100 с.
9. Желязко В.И., Тиво П.Ф., Мажайский Ю.А. Использование бесподстилочного навоза на мелиорированных агроландшафтах Нечерноземья: монография. – Рязань: Мещер. ф-л ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2006. – 304 с.
10. Захарова О.А., Кирейчева Л.А., Мажайский Ю.А. Микробiocеноз почвы при разных уровнях антропогенного воздействия: монография. – Рязань, 2004. – 162 с.
11. Кошевой О.Ю. Утилизация животноводческих стоков на мелиоративных системах // Мелиорация и водное хоз-во. – 1993. – № 5. – С. 19–21.
12. Крайнов С.П., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
13. Лазарев Н.Н., Михеев В.А. Урожайность и химический состав многолетних трав при использовании животноводческих стоков // Известия ТСХА. – 2004. – Вып. 3. – С. 33–44.
14. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М. Тяжёлые металлы в экосистемах водосборов малых рек. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 138 с.
15. Максимов В.Я., Шевцова Г.Н. Нитраты и кормление животных. – Киев: Урожай, 1990. – 72 с.

16. Матцель В. Резервы повышения эффективности применения фосфорных удобрений в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства // *Агрохимия*. – 1985. – № 12. – С. 24.

17. Мысова Г.А. О ветеринарно-санитарных требованиях при анаэробной ферментации жидкого навоза на свинокомплексах // *Свиноферма*. – 2009. – № 4. – С.38–40.

18. Новиков Ю.В. Сохраняйте чистоту водоёмов. – М.: Медицина, 1983. – 80 с.

19. Нормы технологического проектирования оросительных систем с использованием животноводческих стоков (НТП–АПК 1.30.03.01–06). – М., 2007. – 48 с.

20. Овцов Л.П., Михеев В.А. Плодородие дерново-подзолистых почв при длительном орошении животноводческими стоками // *Мелиорация и водное хоз-во*. – 2002. – № 5. – С. 16–18.

21. Окладников Н.И., Безденежных И.С. Санитария промышленного свиноводства. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 191 с.

22. Орлова О.В., Тарасов С.И., Архипченко И.А. Величина активного пула углерода в почве при длительном внесении бесподстилочного навоза // *Доклады РАСХН*. – 2006. – № 1. – С. 26–28.

23. Оросительные системы с использованием сточных вод и животноводческих стоков. ВНТП (взамен ВСН 33-2.2.02-85, ВСН 33-2.2.02-86). – М.: Минсельхозпрод России, 1998. – 73 с.

24. Пономаренко Ю.А., Фисин В.И., Егоров И.А. Безопасность кормов, кормовых добавок и продуктов питания: монография. – Минск: Эксперспектива, 2012. – 864 с.

25. Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия. – Л.: Наука, 1975. – 208 с.

26. Пузанков А.Г., Мхитарян Г.А., Гришаев И.Д. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 175 с.

27. Романенко Н.А., Хижняк Н.И., Бобун И.И. Санитарно-эпидемиологические основы почвенной очистки животноводческих стоков. – Кишинев: Штиница, 1990. – 128 с.

28. Саяпин В.П., Романенко Н.А. Ветеринарно-санитарные и гигиенические аспекты использования животноводческих стоков в сельском хозяйстве // *Обзор. инф. ВНИИТЭИагропром*. – М., 1991. – 40 с.

29. Соколов О.А., Семенов В.М., Агаев В.А. Нитраты в окружающей среде. – Пушкино : ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1988. – 316 с.

30. Технология использования жидких органических удобрений на луговых угодьях, исключая загрязнение почв и природных вод и инкрустацию солей на напорных трубопроводах / П.Ф. Тиво [и др]. – Минск, 2005. – 64 с.

31. Тиво П.Ф., Быцко И.Г. Тяжелые металлы и экология. – Минск : ЮНИПОЛ, 1996. – 192 с.

32. Тиво П.Ф., Дробот С.Г. Эффективное использование бесподстилочного навоза. – Минск : Ураджай, 1988. – 166 с.
33. Тиво П.Ф., Саскевич Л.А. Нитраты: слухи и реальность. – Минск : Ураджай, 1990. – 151 с.
34. Хвесик М.А. Проблема охраны природных вод при орошении земельных угодий сточными водами животноводческих комплексов // Водные ресурсы. – 1991. – № 3. – С. 108–112.
35. Шевцов Н.М. Внутрипочвенная очистка и утилизация сточных вод. – М.: Агропромиздат, 1988. – 141 с.
36. Käding H. Einfluß der N-Düngung und Bewirtschaftung von Niedermoorglasland sowie hydrologischer standortigenschaften auf den Nitrateintrag // Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde. – 1986. – Bd. 30. – № 2. – S. 109–114.
36. Wesołowski P., Kochanowska R. Wpływ gnojowicy na plonowanie, skład botaniczny i chemiczny siana łąk położonych na glebach organicznych // Wiadomości instytutu melioracji i użytków zielonych. – 1985. – T. XV. – Z. 2. – S. 79–91.

Глава 6. ЗЕЛЕНое УДОБРЕНИЕ КАК ИСТОЧНИК ПЛОДОРОДИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Зеленое удобрение – это свежая растительная масса, запаханная в почву с целью обогащения ее азотом и органическим веществом, что оказывает эффективное действие на плодородие и продуктивность почвы. Запахивание зеленой растительной массы в почву называется сидерацией, а запахиваемые растения – сидератами. Сидерация – важное средство повышения плодородия малокультурных и особенно песчаных и супесчаных почв. При запахке сидератов почва обогащается органическим веществом, повышается буферность, емкость поглощения, влагоемкость, снижается кислотность и улучшается жизнедеятельность почвенных микроорганизмов и в конечном итоге повышается урожай сельскохозяйственных культур.

6.1. Культуры, формы, виды применяемых сидератов

В зависимости от количества тепла, осадков, условий местности, гранулометрического состава почвы, наличия удобрений и семян на сидераты можно высевать следующие культуры: **бобовые** – люпин многолетний и однолетний, донник белый и желтый, сераделлу, вику озимую и яровую, пелюшку, горох и др.; **злаковые** – озимую рожь, райграс, а также подсевные злаковые и бобовые многолетние травы, используя первый укос на корм скоту, а отаву – на удобрение, **крестоцветные культуры** – рапс озимый и яровой, сурепицу озимую и яровую, редьку масличную, горчицу белую, перко, фацелию и другие быстрорастущие культуры и их смеси. Перечисленные культуры можно широко применять в Беларуси, на почвах России, Украины, Прибалтики, во всех странах Восточной и Западной Европы и в ряде других стран. Анализ иностранной литературы показывает, что во многих странах мира для сидерации применяют более 60 разнообразных культур. В Германии на зеленое удобрение высевают около 30 различных культур. Среди них бобовые (клевера – луговой, пастбищный, гибридный, персидский, александрийский), зернобобовые (люпины, сераделла, вика озимая и посевная, кормовые бобы, горох полевой), злаковые (райграсы уэльский, немецкий, гибридный, однолетний), крестоцветные (рапс яровой и озимый, редька масличная, горчица, сурепица озимая и яровая), фацелия и

др. Широко применяются смеси райграса однолетнего и рапса (25 + 2 кг/га), райграса однолетнего и клевера персидского (10 + 15 кг/га), райграса однолетнего и клевера александрийского (20 + 15 кг/га), пелюшки и кормовых бобов (80 + 60 кг/га), вики яровой, пелюшки и рапса (40 + 50 + 2 кг/га) и др. В Польше, кроме люпинов, на зеленое удобрение запахивают горох, сераделлу, озимую вику и конские бобы, различные смеси бобовых с подсолнечником, рапсом, сурепицей и горчицей. В северо-западной части Поморья рекомендуется использовать озимую вику и конские бобы, а также клевера. Высевают смеси указанных бобовых с подсолнечником и крестоцветными культурами.

В Англии применяют на зеленое удобрение клевера, люцерну хмелевидную, райграс и крестоцветные культуры. Департамент Британской Колумбии по сельскому хозяйству рекомендует использовать на зеленое удобрение луговой и другие клевера, люцерну, бобы, сою, горох, вику, рожь, пшеницу, овес, гречиху, все злаковые и крестоцветные культуры, бобово-злаковые смеси и др. В Чехии на виноградных плантациях рекомендуют использовать смеси вики, пшеницы и озимого рапса, на плантациях хмеля – горчицу, фацелию и пелюшку. Для картофелеводческой зоны экономически наиболее выгодными из изучаемых сидератов признаны клевер гибридный, пелюшка, вика и фацелия. В Болгарии пожнивно высевают на зеленое удобрение люпины, вику, кормовой горох и подсолнечник. В Италии рекомендуют в качестве зеленого удобрения мелкосемянные бобовые и другие культуры. В Нидерландах эффективными оказались клевер луговой и пастбищный, люцерна хмелевидная; широко используют ботву сахарной свеклы и райграс итальянский. В Бельгии в качестве сидератов используют клевер, люпин, вику, горох, бобовые смеси, озимый и яровой рапс и др. Не рекомендуют только применять крестоцветные культуры на почвах, где обнаружено наличие нематод. Во Франции применяют редис, горчицу белую, различные смеси с горохом и викой, редьку китайскую, яровой и озимый рапсы, райграс итальянский, клевер луговой. В Румынии практикуют люпин, вику, крестоцветные и другие культуры, В Литве, Латвии и Эстонии находят применение люпин, донник, райграс, бобово-злаковые смеси и крестоцветные культуры. В Украине высевают люпины, донник, сераделлу, райграс, озимую рожь, крестоцветные, фацелию, вику, пелюшку и различные смеси; в Молдове –

люпин, вику, донник, рожь и смеси; в Швейцарии лучшей сидеральной культурой считается фацелия. В Японии как зеленое удобрение применяют овес, рожь, сорго, мамонтовую траву, люцерну, гречиху, вику и др. В штате Вашингтон на орошаемых землях рекомендуют в качестве сидерата использовать люцерну, вику мохнатую, донник белый, горох полевой, сою, озимые зерновые культуры рожь и пшеницу, суданку. Все сидераты используют в качестве промежуточных культур. Бобовые сидераты применяют в основном под пропашные культуры – кукурузу и картофель.

В Нечерноземной зоне России в настоящее время используют на зеленое удобрение многолетних и однолетних люпины, донник, вику, пелюшку, райграс, как поукосные – горчицу белую, редьку масличную, яровой рапс, яровую сурепицу.

В Черноземной зоне возделывают все перечисленные сидераты, кроме многолетнего люпина, а также пожнивные бобово-злаковые смеси. В степной, лесостепной и пустынной зонах зеленые удобрения можно применять только при орошении. Здесь высевают быстрорастущие сидераты, которые в промежутке между основными культурами наращивают удовлетворительную массу, используемую как на корм скоту, так и на сидеральные цели. В полупустынной, пустынной, предгорной пустынно-степной зонах целесообразно испытать новые культуры, хорошо переносящие засушливые периоды, малотребовательные к почве, приспособленные к росту в пустынях. Это растения из семейства бобовых (астрагал шерстистый, солодка голая, шероховатая и уральская, горошек маловолосистый, мышиный и тонколистный, чина клубневая и луговая; эспарцет донской и большой, пажитник крупноцветковый, верблюжья колючка ложная или обыкновенная), злаковых (тростница Карелина, волоснец многостебельный и гигантский, осока вздутоплодная и колхидская) и многие другие культуры.

Таким образом, при выборе культуры для сидерации следует учитывать различия климатических, почвенных и экономических условий хозяйств и районов страны.

На зеленое удобрение рекомендуется использовать две формы сидератов – в качестве самостоятельной и промежуточной культуры. **Промежуточными** следует называть те сидераты, которые высевают на полях в промежутке между основными культурами в севообороте, **самостоятельными** – те, которые занимают поле весь вегетационный период до высева озимых или

яровых культур. Самостоятельные посеы сидератов могут находить применение только при рекультивации земель, на землях крайне низкого плодородия, при мелиоративных работах, связанных с нарушением гумусового слоя почвы (раскорчевка мелколесья и отдельно стоящих деревьев), а также вместо чистых паров.

Во многих краях и областях России, Украины и других стран СНГ с достаточным выпадением осадков или при орошении целесообразно вводить сидеральные, а на более окультуренных землях – занятые пары.

Замена в зонах достаточного увлажнения чистых паров сидеральными способствует повышению плодородия почвы, оздоровлению окружающей среды и получению с единицы площади большего количества сельскохозяйственной продукции, причем лучшего качества. В паровых парах можно применять самые разные сидераты: все крестоцветные, фацелию, узколистный люпин, горох, пелюшку, отаву донника и другие многолетние бобовые травы, бобово-злаковые смеси.

Обе формы сидератов могут использоваться на зеленое удобрение *полностью* (запахивается вся растительная масса) либо *частично* (первый укос идет на корм скоту, а отросшая отава – донник, клевер, люцерна, райграс и др. – запахивается в качестве зеленого удобрения). При этом отавное зеленое удобрение можно считать своеобразной формой сидерации полей. Эта форма зеленого удобрения применяется под ранние яровые зерновые и пропашные культуры весеннего сева.

Почва под озимыми и яровыми зерновыми, зернобобовыми, овощными и другими ранними культурами используется рационально только в первой половине сельскохозяйственного года. Послеуборочный же летне-осенний вегетационный период (70–90 дней, а на орошаемых землях юго-востока России, Северного Кавказа, юга Украины и Средней Азии – до 100–120) в большинстве своем не используется. За это время безвозвратно теряется огромное количество солнечной энергии, падающей на оголенную почву и не приносящей никакой пользы, поэтому размещение промежуточных культур в этот период будет способствовать более рациональному использованию земли и биоклиматического потенциала – тепла, солнечной энергии, влаги, а также повышению плодородия почвы и значительному улучшению экологической обстановки. Почвенные и климатические условия всей Не-

черноземной зоны Беларуси, Российской Федерации, Украины, Прибалтийских республик и других государств позволяют широко применять пожнивные посевы для использования их в качестве кормов и на сидеральные цели. Известно, что при узкой специализации севооборотов основные культуры часто поражаются различными болезнями, вредителями, а также угнетаются приспособившимися сорняками, и в данном случае широкое применение промежуточных культур может значительно оздоровить обстановку.

В зависимости от почвенно-климатических условий – оптимального увлажнения и температурного режима, гранулометрического состава почвы промежуточные культуры могут широко применяться в виде подсевных, пожнивных, поукосных и озимых сидератов. При этом следует учитывать существующую в хозяйстве специализацию и принятое чередование культур в севообороте.

Подсевные промежуточные культуры. Преимущество их состоит в том, что без дополнительных площадей и затрат на обработку почвы можно получать высокие урожаи растительной массы на зеленое удобрение, причем первый укос использовать на кормовые цели (донник, райграс, вика мохнатая и др.). Подсевные сидераты высевают поздней осенью под покров зерновых культур (многолетний люпин, вика мохнатая) либо ранней весной под озимую рожь (многолетний люпин, донники белый и желтый, райграс и др.) или под однолетние травы и их смеси весной (сераделла, райграс). Наиболее благоприятные условия для подсевных создаются под покровом рано убираемых культур на зеленый корм (озимая рожь, однолетние бобово-злаковые смеси, яровые колосовые). Более ранняя уборка покровных культур создает лучшие условия для подсевных, получающих больше света и влаги, а продолжительный теплый послеуборочный период способствует наращиванию высоких урожаев возделываемых культур. Следует учитывать, что злаковые подсевные культуры (однолетний райграс и др.) более устойчивы под покровной культурой, чем бобовые (люпин многолетний, донник белый, сераделла, клевера и др.). Необходимо также предпринимать меры по недопущению полегания зерновых. При полегании покровной культуры, особенно колосовых на зерно, подсевные культуры сильно изреживаются и выпадают (на 50 % и более, а иногда и полностью). Для того чтобы не допустить полегания покровных куль-

тур, целесообразно уменьшать их норму высева на 15–20 % и обеспечивать равномерное внесение азотных удобрений в подкормку. Зерновые с подсевными культурами необходимо убирать в первую очередь и на высоком срезе не ниже 15 см с незамедлительной уборкой соломы. На удаленных от животноводческих ферм полях, где органические удобрения не вносятся, целесообразно солому в измельченном виде оставлять на поле в виде мульчи под растущим подсевным сидератом. При этом необходимо добиваться хорошего измельчения и раструсивания соломы, чтобы она ложилась равномерно на всю ширину захвата уборочного агрегата. Растительная масса подсевных сидератов запахивается в несколько сроков. Первый срок – поздней осенью под ранние яровые культуры (сераделла, однолетний райграс). На легких супесчаных и песчаных почвах, а также на холмистых угодьях эти сидераты можно оставлять с осени в виде мульчи, не запахивая. Весной мульчу заделывают дисковыми культиваторами и высевают кукурузу, силосные и другие культуры. Второй срок – в середине мая под гречиху, просо и силосные (люпин многолетний, вика озимая с рожью и в чистом виде). Третий срок – в конце мая под однолетние травы, идущие в качестве предшественника под озимые зерновые, озимый рапс и др. (люпин многолетний, вика озимая). По не запаханым с осени сидератам на полях зимой накапливается больше снега, улучшается водный режим почвы, до минимума снижается водная и ветровая эрозия.

Пожнивные промежуточные культуры. Условия развития растений в поживный период резко отличаются от весенних. Поживные культуры вегетируют при коротком и все уменьшающемся дне при сравнительно высоких в начальный период, а затем постоянно снижающихся температурах, притом с резкими суточными колебаниями. Изменяется и характер выпадающих осадков. Нередко высевать поживные культуры приходится в сухую почву, применяя все агротехнические меры по созданию удовлетворительных условий для получения всходов высеянных культур. Основной фактор при выращивании поживных культур – ресурсы тепла и влаги, остающиеся после возделывания рано убираемой основной культуры. В связи с этим для их успешного возделывания необходимо учитывать сроки освобождения поля от основных культур, а также запас остающегося тепла для формирования урожая. Большую помощь в этом могут оказать дан-

ные нарастания среднесуточных температур (табл. 6.1). Вычисление на установленную дату сева сидерата разности между общей суммой температур и оставшимся количеством до конца вегетации позволяет оптимально подобрать сидерат, который за период активных температур даст наибольший урожай.

Таблица 6.1

Нарастание суммы средних температур (по А.Н. Лебеву)

Дата	Сумма температур, °С												
	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600
20.04												0	10
30.04	–	–	–	–	–	–	–	30	60	80	ПО	130	140
10.05	–	–	–	–	–	60	120	160	190	210	240	270	300
20.05	–	–	–	50	120	190	250	290	330	360	400	430	450
31.05	–	20	100	190	260	340	400	460	500	560	600	650	690
10.06	50	140	230	310	400	500	560	630	700	770	820	870	900
20.06	170	260	360	460	560	650	740	810	900	970	1030	1100	ИЗО
30.06	300	400	510	620	720	830	930	1000	1000	1190	1260	1320	1390
10.07	450	560	670	800	900	1010	1110	1200	1300	1400	1500	1580	1630
20.07	600	700	840	960	1090	1200	1300	1400	1510	1600	1700	1800	1900
31.07	760	800.	1020	1150	1280	1400	1510	1630	1750	1860	2000	2100	2190
10.08	900	1040	1190	1300	1450	1560	1700	1840	1970	2100	2200	2310	2440
20.08	1050	1200	1330	1470	1600	1740	1880	2000	2130	2300	2440	2550	2640
31.08	1200	1350	1490	1620	1760	1900	2060	2210	2370	2500	2660	2790	2900
10.09	–	–	1600	1750	1900	2060	2200	2360	2520	2690	2840	3000	3100
20.09	–	–	–	–	–	2190	2350	2490	2650	2820	3000	3160	3300
30.09									2800	2970	3160	3320	3450
10.10													3650

Например, в Беларуси (Гомельской, Брестской и Гродненской областях) уборку озимой ржи начинают в начале третьей декады июля, а сидераты сеют в конце месяца. Тогда при общей сумме активных температур 2400–2600 °С остается выше 10 °С 890–970 °С (2400 – 1510 = 890). Следовательно, этого количества тепла достаточно, чтобы получить хороший урожай бобовых сидератов – вики яровой, гороха, пелюшки, люпина узколистного, кормовых бобов до фазы цветения, а крестоцветных – редьки масличной, рапса ярового, перко, горчицы белой, а также фацелии и др. – до фазы полного цветения.

При севе пожнивных культур 10 августа сумма активных температур составит всего 700–760 °С (2400 – 1700 = 700 °С), а значит, и набор пожнивных сидератов будет меньше, поскольку при таком количестве тепла можно сеять только культуры с коротким вегетационным периодом (крестоцветные и др.).

В условиях Беларуси сроки сева пожнивных культур очень сжаты. Опоздание с севом на один летний день может привести к ежесуточной потере 1–2 т/га растительной массы, поэтому бобовые сидераты высевают в третьей декаде июля, но не позднее 1–3 августа, крестоцветные и фацелия – не позднее 10–15 августа.

С учетом агроклиматических условий Беларуси рассчитаны средние даты уборки основных культур и сева пожнивных сидератов (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Временные условия выращивания пожнивных сидератов с учетом уборки основных культур в Беларуси (К.И. Довбан)

Основная культура	Дата уборки	Дата посева	Время вегетации, дни	Наименование пожнивных культур
Озимая рожь	20.07–05.08	22.07–07.08	68–84	Люпин узколистный, пелюшка, крестоцветные, злаковые и бобово-злаковые смеси, фацелия
Озимая пшеница	25.07–10.08	27.08–12.08	63–79	Крестоцветные, фацелия, бобово-злаковые смеси
Озимая тритикале	25.07–10.08	27.07–12.08	63–79	Крестоцветные, фацелия, бобово-злаковые смеси
Озимый ячмень	15.07–30.07	17.07–02.08	78–88	Люпин узколистный, кормовые бобы, горох, вика, пелюшка, бобово-злаковые смеси, райграс, крестоцветные
Озимый рапс	15.07–25.07	17.07–27.07	79–89	Бобы, горох, пелюшка, люпин узколистный, фацелия, райграс
Яровой ячмень	20.07–30.07	22.07–02.08	76–84	Люпин узколистный, кормовые бобы, горох, пелюшка, крестоцветные, фацелия, райграс, бобово-злаковые смеси
Овес	06.08–16.08	08.08–18.08	59–70	Крестоцветные, фацелия
Ранний картофель	05.07–16.07	08.07–19.07	86–97	Люпин узколистный, кормовые бобы, горох, пелюшка, вика, бобово-злаковые смеси, райграс, крестоцветные, фацелия
Горох на зерно	25.07–10.08	27.07–12.08	64–79	Крестоцветные, фацелия
Люпин на зерно	02.08–16.08	04.08–18.08	58–72	Крестоцветные, фацелия

Примечание: Вегетационный период пожнивных культур рассчитан до 15 октября.

Таким образом, после уборки основных культур достаточно благоприятных дней для роста и развития пожнивных посевов и наращивания ими зеленой массы не только для запашки на удобрение, но и использования на корм животным. Чтобы сократить предпосевные работы для пожнивных сидератов, необходимо в период предпосевной подготовки почв под основные рано убираемые культуры фосфорно-калийные удобрения вносить в запас с учетом потребности в них пожнивных посевов. При удобрении во время предпосевной подготовки почвы после уборки зерновых задерживается сев пожнивных культур на 2–3 дня. Кроме того, непроизводительно теряется влага, столь необходимая для почвенного развития сидератов. Под основные зерновые и поживные крестоцветные, злаковые и другие небобовые культуры азотные удобрения (N₆₀₋₉₀) вносятся во время предпосевной подготовки почвы. Хорошие результаты дает применение при посеве стерневой сеялки СПП-3,6, рекомендованной Белорусским научно-исследовательским институтом механизации сельского хозяйства НАН Беларуси, которой вслед за комбайном при уборке зерновых с измельчением соломы можно сеять промежуточные культуры без предварительной вспашки или дискования. Для всех пожнивных культур нормы высева следует повышать на 15–20 % по сравнению с нормами, принятыми для обычных весенних посевов. В пожнивных посевах можно возделывать бобовые – люпин узколистный, вику озимую (мохнатую) и яровую, пелюшку, бобы конские и др.; крестоцветные – редьку масличную, горчицу белую, рапсы яровой и озимый, перко, сурепицу яровую и озимую, а также фацелию и другие культуры с коротким вегетационным периодом.

Поукосные промежуточные сидераты в основном можно размещать в районах, где период вегетации сельскохозяйственных культур короткий и поживные посевы не успевают сформировать удовлетворительную растительную массу для запашки на удобрение. Эти посевы размещают на участках после уборки озимой ржи на зеленый корм или монокорм, после первого укоса многолетних трав, скашивания однолетних бобово-злаковых смесей на кормовые цели и других культур, убираемых на зеленую массу, силос и сенаж. Поукосные посевы наращивают надземную массу летом и осенью. В поукосных посевах можно применять все культуры, рекомендованные для пожнивных посевов.

Заслуживает внимания применение поукосных сидератов по следующей технологии. Под однолетние травы, идущие по запаханному многолетнему люпину, подсевают райграсс, который после уборки покровной культуры использует высвобождающиеся в результате минерализации растительной массы люпина элементы питания, в частности азот, быстро наращивает надземную массу и в конце августа достигает уборочной спелости. После уборки на кормовые цели райграсс до середины октября дает хорошую отаву, которую лучше запахать под ранние яровые культуры. Таким образом, запахивается 40–50 т/га растительной массы многолетнего люпина, затем производится сбор урожая однолетних трав, полноценный укос райграсса на корм и отава запахивается на зеленое удобрение, то есть можно получить за год два урожая на корм скоту и дважды запахать растительную массу на удобрение. Такая технология быстрого окультуривания дерново-подзолистых почв и получения высоко-го урожая кормовых единиц приемлема для любого хозяйства.

Озимые сидераты (озимая рожь, озимый рапс, перко, озимая сурепица и смеси, например озимая рожь с викой мохнатой и др.) высевают осенью после уборки зерновых и других культур. Запашку озимых сидератов производят:

весной следующего года под гречиху, просо, кукурузу, в последние сроки посадки под картофель;

поздно весной или в первой декаде июня под однолетние травы – предшественники озимых зерновых культур;

в сидеральном пару в зависимости от хозяйственной необходимости и условий под зерновые в разные сроки;

в пару с дополнительным внесением перед запашкой торфа, соломы и других органических остатков с широким соотношением С:N (80–100:1).

После запашки озимых сидератов в мае высевают однолетние травы (люпин, вико-горохо-пелюшко-овсяные смеси) с подсевом райграсса однолетнего. Однолетние травы убирают в конце июля, а райграсс при подкормке азотными удобрениями – в сентябре на кормовые цели. Отаву райграсса в конце октября запахивают на зеленое удобрение под ранние яровые культуры. При соответствующей организации можно более рационально использовать землю, получая по два урожая однолетних трав на кормовые цели при одновременном повышении плодородия почвы за счет запашки отавы и зерновых остатков.

В условиях Беларуси, Российской Федерации, Прибалтийских государств и других стран можно применять укосное зеленое удобрение. Такой вид сидерации экономически оправдан, если проводится при полной механизации работ (уборка с измельчением надземной массы, доставка на удобряемый участок с равномерной раструской и заделкой ее в почву).

Посевы донника, многолетнего люпина и других культур размещают в основном вне севооборотных полей в запольных клиньях и других свободных участках. Надземную массу в измельченном виде используют в междурядьях сада, ягодных культур, в приствольных кругах плодоносящего сада в виде мульчи, при закладке питомников и рассадном способе выращивания овощных культур. Особенность этой технологии заключается в том, что зеленое удобрение не иссушает почву, а, наоборот, помогает сохранению и улучшению влажности и обеспечению растений элементами питания. Укосное зеленое удобрение способствует получению экологически чистого натурального урожая сельскохозяйственной продукции.

6.2. Зеленое удобрение – источник постоянно возобновляемого органического вещества и азота в почве

Растения в процессе роста при помощи фотосинтетической энергии солнца аккумулируют от 92 до 98 % элементов (С, Н, О, N, S, P), которые находятся в органической части растения. При этом углерод поступает в растение из CO_2 воздуха; водород и кислород оно получает в форме воды; азот усваивает как из неорганических форм его, содержащихся в почве, так из атмосферы с помощью азотфиксирующих клубеньковых бактерий бобовых культур; серу и фосфор – из растворимых неорганических солей почвы, оттуда же и другие минералы – калий, кальций, железо и еще в меньшем количестве – натрий, кремний, хлор и другие элементы. Поскольку эти элементы содержатся в почве в минимальных количествах, то растущие в севообороте культуры необходимо обеспечивать дополнительным внесением в форме минеральных и органических удобрений. Очень важно проследить процесс разложения растений в почве на простые составные элементы, доступные последующим культурам.

Химический состав растений зависит от степени зрелости на момент заделки их в почву. Более молодые сидераты, не дос-

тигшие фазы бутонизации, подвергаются разложению значительно быстрее, чем в фазе полного цветения – образования бобиков у бобовых культур. Еще медленнее идет разложение растительных остатков после уборки зерновых, солома которых заделывается в почву. С.А. Ваксман дает обширную информацию по химическому составу молодых и зрелых частей ряда растений (табл. 6.3).

Таблица 6.3

**Химический состав ряда растений и растительных фрагментов,
% от общего сухого вещества (по С.А. Ваксман)**

Химические комплексы	Молодые растения ржи	Зрелая солома пшеницы	Надземная часть сои	Надземная часть люцерны	Молодые стебли кукурузы	Более зрелые стебли кукурузы	Молодые сосновые иглы	Старые сосновые иглы	Дубовые листья зеленые	Дубовые листья зрелые коричневые
Эфирорастворимые вещества	2,35	1,10	3,80	10,41	3,42	5,94	7,65	23,92	7,75	4,01
Водорастворимые вещества	29,54	5,17	22,09	17,24	28,27	14,14	13,02	7,29	22,02	15,32
Гемицеллюлоза	12,67	26,35	11,08	13,14	20,38	21,91	14,68	18,98	12,50	15,60
Целлюлоза	17,84	39,10	28,53	23,65	23,05	28,67	18,26	16,43	15,92	17,18
Лигнины	10,61	21,60	13,84	8,95	9,68	9,46	27,63	22,68	20,67	29,66
Протеины	12,26	2,10	11,04	12,81	2,61	2,44	8,53	2,19	9,18	3,47
Зола (минералы)	12,55	3,53	9,14	10,30	7,40	7,54	3,08	2,51	6,40	4,68
Итого	97,82	99,35	99,52	96,50	94,81	90,10	92,85	94,00	91,44	89,92

Корневая система многолетнего люпина в сравнении с однолетним более мощная, содержит больше целлюлозы и лигнина, соотношение углерода и азота более широкое, поэтому она медленнее подвергается микробиологическому распаду, чем надземная масса, богатая водорастворимыми веществами (табл. 6.4).

При возделывании сидератов главное условие хорошей урожайности – получение оптимальной густоты травостоя.

Наращивание растительной массы (надземной части и корней в пахотном слое) сидератов зависит от типа почв, их гранулометрического состава, уровня плодородия, погодно-климатических и других местных условий. Зависит этот показатель и от биологических

особенностей культуры, срока сева, внесения оптимальных доз удобрений, а также от форм использования. В связи с этим может запахиваться от 6–7 до 25–50 т/га зеленой массы сидератов и от 5 до 20 т/га корней в пахотном и подпахотном слоях. Эффективность сидерата в меньшей мере зависит от величины урожая надземной массы и в большей – от густоты и хорошего развития, переплетения в пахотном и подпахотном слоях корневой системы. Хорошо развитая корневая система сидерата способствует улучшению водно-физических и биологических свойств почвы. При оптимальной густоте сидерата растительная масса его (корни и надземная масса) распределяется по полю при запашке равномерно, чего очень трудно добиться при внесении других органических удобрений, особенно полужидкого навоза. Следует учитывать и то, что корневая система многих сидератов (многолетних и однолетних люпины, горчица белая, рапс, редька масличная и др.) способна усваивать из глубоких горизонтов труднорастворимые элементы питания (фосфор, кальций, магний и др.), в результате чего ранее не использованные питательные вещества вовлекаются в малый биологический круговорот.

По обобщенным результатам исследований отечественных и зарубежных авторов данные о содержании элементов питания в различных сидеральных культурах сведены в общую таблицу. Для сравнения приводятся средние аналогичные показатели для классического органического вещества – навоза (табл. 6.4).

Содержание азота, фосфора и калия в растительной массе сидератов значительно варьируется. Насыщенность пахотного слоя макроэлементами зависит от плодородия почвы. При содержании фосфора и калия более 200–250 мг/кг почвы процент их в растительной массе сидерата будет наибольшим, при содержании до 100 мг/кг почвы – заметно ниже. Содержание макроэлементов зависит также от плодородия почвы и количества вносимых минеральных удобрений.

Как показали исследования, в пожнивных сидератах в молодой растительной массе отмечается более высокое содержание азота, чем при весеннем севе в сидеральных парах. Чем выше уровень азотного питания (от N_{40} до N_{120}), тем больше содержание его в растениях. Последнее зависит и от густоты посевов. В исследованиях, проведенных в НИИ земледелия НАН Беларуси, установлено, что при повышении нормы высева семян горчицы

белой от 15 до 35 кг/га содержание азота в растениях снижалось, а клетчатки, наоборот, повышалось на 6,5 %.

Таблица 6.4

Содержание макроэлементов (N, P₂O₅, K₂O) в растительной массе различных сидеральных культур и в навозе на соломенной подстилке

Анализируемое вещество	% на сырую массу			кг в 10,0 т		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Навоз крупного рогатого скота	0,44–0,60	0,25–0,30	0,50–0,70	44–60	25–30	50–70
Люпин многолетний	0,46–0,50	0,08–0,095	0,25–0,34	40–50	8,0–9,5	25–34
Люпин узколистный	0,40–0,42	0,10–0,12	0,20–0,25	40–42	10–12	20–25
Донник белый	0,60–0,70	0,05–0,08	0,18–0,23	60–70	5–8	18–23
Озимая рожь	0,30–0,35	0,10–0,12	0,25–0,30	30–35	10–12	25–30
Райграс однолетний	0,35–0,40	0,11–0,13	0,25–0,30	35–40	11–13	25–30
Сераделла	0,40–0,50	0,10–0,15	0,30–0,40	40–50	10–15	30–40
Пелюшка (горох)	0,45–0,50	0,12–0,15	0,40–0,45	45–50	12–15	40–45
Крестоцветные (озимый и яровой рапс, взимая и яровая сурепица, перко, горчица белая, редька масличная)	0,30–0,45	0,10–0,15	0,30–0,50	30–45	10–15	30–50
Фацелия	0,32–0,40	0,10–0,13	0,40–0,48	32–40	10–13	40–48

Культуры, используемые на зеленое удобрение, по-разному влияют на агрохимические свойства почвы. Большое значение имеет и форма использования сидерата: запахивание только надземной части, либо всего растения вместе с корневой системой, либо только пожнивных и корневых остатков.

Накопление элементов питания в почве зависит от срока заделки сидерата. При заделке его летом в сидеральных парах под озимые на легких по гранулометрическому составу почвах зеленое удобрение быстро разлагается, особенно надземная его часть, а высвободившиеся подвижные элементы питания взошедшими растениями озимой зерновой культуры полностью не используются, в результате чего значительная часть питательных веществ может вымываться осенне-зимними и ранневесенними осадками за пределы корнеобитаемого слоя.

Для того чтобы сохранить элементы питания и получить результат от сидерации полей, необходимо, во-первых, применять сидераты в качестве промежуточной культуры, не занимающей самостоятельного поля, во-вторых, запахивать сидеральные культуры поздней осенью, когда заканчивается вегетационный период, либо ранней весной, в виде мульчи. Не запаханные на зиму сидераты являются хорошим средством для борьбы с водной и ветровой эрозией почвы, снегозадержания и накопления в почве влаги. Запаханные поздно осенью или заделанные в почву весной в виде мульчи сидераты минерализуются, обеспечивая основные культуры элементами питания в период максимальной в них потребности. Поэтому потери их даже на рыхлых песках сводятся к минимуму. Исследованиями установлено, что после запахки сидератов кислотность снижается, а сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями возрастает (табл. 6.5).

Таблица 6.5

Влияние сидератов на агрохимические свойства дерново-подзолистых супесчаных почв

Вариант опыта	Кислотность (рН>)	Сумма поглощенных оснований, м-экв./100 г почвы	Гидролитическая кислотность, м-экв./100 г почвы	Емкость поглощения, м-экв./100 г почвы	Степень насыщенности основаниями, %
Без удобрений	5,9	11,7	2,4	14,1	82
Навоз	6,3	13,0	1,8	14,8	88
Люпин	6,3	12,9	1,8	14,7	88
Пелюшка	6,2	13,0	2,0	15,0	87
Вика	6,2	13,2	1,9	15,1	87
Донник	6,3	18,8	1,8	15,6	88

Кроме того, повышалось содержание гумуса в почве: без органических удобрений в слое 0–20 см оно составляло 1,70 %, по навозу – 1,82; по люпину – 1,85; по пелюшке – 1,72; по вике – 1,70 и по доннику – 1,91 %. Исследованиями Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, на дерново-подзолистой почве, установлено, что внесение за ротацию 8-польного севооборота 60 т/га навоза, 35 т/га зеленой массы люпина и минеральных удобрений (105 кг/га азотных, 215 кг/га фосфорных и 320 кг/га калийных) в сравнении с контролем значительно улучшило агро-

химические показатели почвы пахотного слоя (0–20 см). Так, в конце ротации сумма поглощенных оснований в контроле (без удобрений) составила 2,1, а по фону навоза, сидерата и минеральных удобрений – 2,38 м-экв. на 100 г почвы, степень насыщенности основаниями соответственно равнялась 45,8 и 52,5 %, содержание гумуса – 1,53 и 1,69 %, общего азота – 0,062 и 0,078 %, P_2O_5 – 1,65 и 3,68 мг и K_2O – 2,04 и 3,46 мг на 100 г почвы. Совместное внесение небольших доз навоза, сидерата и минеральных удобрений на песчаной почве оказалось весьма эффективным, особенно если учесть, что вынос питательных элементов с урожаем по фону удобрения был почти в два раза выше, чем в контроле.

Азот является одним из наиболее дефицитных элементов питания растений. Около 99 % связанного азота почвы содержится в органическом веществе.

В среднем в пахотном слое содержится, по разным источникам, около 3000 кг/га органического азота, однако в условиях умеренного климата в доступную растениям форму переходит его всего от 1 до 3,5 %.

Важную роль в пополнении количества доступного азота в почве играют азотфиксирующие микроорганизмы, которые усваивают молекулярный азот воздуха с образованием сложных азотистых соединений. Бобовые сидераты фиксируют атмосферный азот, тем самым способствуя улучшению баланса азота в почве. Многолетний люпин в качестве промежуточной культуры может фиксировать до 300–400 кг биологического азота, донник – до 200–300, однолетний люпин – 150–200 кг.

К. Делвич считает, что в среднем азотфиксирующие микроорганизмы в симбиозе с люцерной и другими бобовыми могут связать около 350 кг/га азота в год. В зависимости от культуры бобового растения, фаз его развития, свойств почвы, минерального питания и других факторов на каждом гектаре может связываться от 100 до 300 и более килограммов атмосферного азота (табл. 6.6).

В.П. Тульчинская, обобщая данные отечественных исследований, приходит к выводу о том, что клевер и люцерна фиксируют до 400 кг/га азота в год. Как видно из приведенных данных, количество азота, фиксируемого клубеньковыми бактериями, значительно варьирует. Во многом это объясняется тем, что разме-

ры азотфиксации определяются разными методами, а культуры в различных условиях фиксируют неодинаковое количество азота.

Таблица 6.6

Сравнительная количественная характеристика симбиотической азотфиксации бобовыми растениями, кг/га

Культура					Автор
люцерна	клевер	люпин много- летний	люпин однолет- ный	другие бобовые	
300	150–160	–	–	до 80	Д.Н. Прянишников (1965)
–	160–300	–	60–140	10–53 (горох)	Л.И. Шилина (1968)
300	–	–	150–200	60–100	Л.М. Доросинский и др. (1969)
271	149	265	98	до 127	В.К. Михновский (1970)
300 (до 500–600)	150 (до 250–300)	–	до 150	50–60	Е.Н. Мишустин (1972)
126–274	170–205	–	–	52–75	В.Н. Прокошев и др. (1973)
217	200	–	–	79 (соя)	Р. Vergaux (1975)
–	162	до 385	150	100	К.И. Довбан (1983)

Большой эффект в повышении плодородия почвы достигается от использования бобовых сидератов совместно с измельченной соломой.

Технология применения бобовых сидератов совместно с измельченной соломой, разработанная и внедряемая К.И. Довбаном, находит все большее признание. Нежная зеленая масса сидерата, будучи запаханной, быстро минерализуется, высвобождая, иногда в избытке, питательные вещества, что часто приводит к непроизводительным их потерям. Отношение углерода к азоту составляет 10–15 : 1, поэтому важно найти способ замедления разложения запаханного сидерата.

Солома же содержит большое количество безазотистых веществ: целлюлозы – 33–35 %, гемицеллюлозы – 21–22 %, лигнина – 18–22 %. Широкое отношение углерода к азоту (80–98 : 1) сдерживает биохимическое разложение соломы. В процессе ми-

нерализации соломы целлюлозоразлагающие микроорганизмы потребляют из почвенных запасов минеральный азот (NH_4NO_3). В результате происходит сильная иммобилизация азота почвы микроорганизмами. В первый год после заправки соломы бобовых культуры испытывают недостаток азота, что негативно сказывается на их продуктивности.

При совместном использовании зеленого удобрения бобовых культур и соломы разложение органического вещества протекает при отношении C: N в пределах 20–30 : 1, то есть этот показатель приближается к классическому органическому удобрению – навозу, где отношение углерода к азоту составляет 25 : 1. Поэтому заправка измельченной соломы с бобовыми сидератами заслуживает особого внимания. Предлагаемая технология важна в первую очередь на отдаленных полях, где другие органические удобрения не вносятся.

При такой технологии солома подвергается микробиологической минерализации без дополнительного внесения азотных удобрений или жидкого навоза, не затрагивая основного фонда азота, содержащегося в почве. Этому способствуют клубеньковые бактерии, которые фиксируют атмосферный азот. В процессе роста и развития бобового сидерата клубеньковые бактерии, частично отмирая, высвобождают определенное количество биологического азота, который стимулирует развитие деятельности микроорганизмов, разлагающих солому и другие органические вещества, богатые целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином. Увеличивается и урожай растительной массы сидерата.

Таким образом, при заделке в почву измельченной соломы перед севом бобового сидерата не требуется дополнительного внесения минерального азота. Наоборот, на фоне заделанной в почву чизельными или дисковыми культиваторами или запаханной соломы симбиотическая азотфиксация усиливается, в результате и эффективность этого приема возрастает.

Зеленое удобрение является дешевым источником органического вещества, пополняющего запасы гумуса в почве. Культуры, используемые в качестве сидератов, по-разному влияют на накопление в почве гумуса. Это зависит от того, используется ли на удобрение только надземная масса сидерата (скашиваемая и перевозимая на другой участок), запахивается ли она на месте роста с корневой системой или заделываются только отава вместе

с пожнивными и корневыми остатками. Нежная зеленая масса, богатая углеводами, быстро разлагается и поэтому не оказывает влияния на накопление гумуса в почве, а только поддерживает его содержание на прежнем уровне. Отношение углерода к азоту при заашке только надземной массы составляет 10–15 : 1. Коэффициент гумификации очень низкий. Заашка надземной массы с корневыми остатками (на месте роста) или только отавы с пожнивными и корневыми остатками, особенно с измельченной соломой, положительно влияет на накопление в почве гумуса. Отношение углерода к азоту увеличивается почти в два раза и в зависимости от культуры составляет 20–30 : 1, то есть приближается к показателю классического органического удобрения – навоза.

Исследования, проведенные в Англии на Ротамстедской сельскохозяйственной опытной станции по изучению действия зеленого удобрения, соломы и навоза на содержание органического углерода и общего азота в почве, показали, что за счет навоза, вносимого с 1936 по 1954 год, накапливалось 30 т/га органического углерода, за счет соломы, вносимой с 1936 по 1963 год, – 25,5 т/га, а за счет зеленого удобрения (хмелевидная люцерна), запахиваемого с 1936 по 1965 год, – около 35 т/га.

Рассматривая мероприятия, способствующие гумусированию пахотных почв, следует обратить внимание на качество самого гумуса. Внесение в почву торфа или торфонавозных компостов, содержащих много готовых специфических гумусовых соединений, просто пополняет их содержание в почвах, тогда как трансформация в почве зеленых удобрений способствует процессам обновления, «омолаживания» и новообразования почвенного гумуса, оказывающим существенное влияние на плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур.

Подсеянный многолетний люпин, вышедший из-под покрова озимой ржи после ее уборки, растет весь август и сентябрь, наращивая до 10–20 т/га надземной массы, которая остается на весну незапаханной в виде мульчи. Весной следующего года многолетний люпин рано трогается в рост и к концу мая наращивает дополнительно 20–25 т/га зеленой массы. При необходимости эту надземную массу можно убирать в измельченном виде и перевозить для удобрения овощных и других культур. Равномерно раструженная навозоразбрасывателями измельченная масса люпина просушивается на поверхности почвы и на 3–5-й день

заделывается в почву. Подсушенная надземная масса люпина разлагается в 2 раза медленнее в сравнении со свежезапаханной.

В опытах А. Витинга изучалась скорость разложения зеленого и подсушенного клевера. Зеленый клевер в лабораторных условиях на 43-й день нитрифицировал 35,8 % азота, а подсушенный – за это время только 15,7 %. Считают, что подсушивание вызвало затвердевание и сжатие тканей растения.

Как показывают результаты исследований К.И. Довбана и данные зарубежных авторов, зеленое удобрение более эффективно запахивать в подсушенном виде, чем в свежем. Запахивание зеленого удобрения с высоким содержанием водорастворимых веществ на глубину 25 см и глубже на почвах, связанных по гранулометрическому составу, особенно суглинистых с неудовлетворительными физическими свойствами, слабой аэрацией, может вызвать вместо оптимального разложения гниение. На таких почвах сидераты лучше запахивать после химического подсушивания (применяя реглон и др.) или заделывать на небольшую глубину. На почвах с хорошими агрофизическими свойствами, особенно на песчаных и супесчаных, с установлением глубины заделки сидерата (не глубже пахотного слоя) уменьшается скорость его разложения, а следовательно, создаются более благоприятные условия для образования гумуса.

Накопление органического вещества в почве зависит также от срока заделки сидерата. При заделке его в июле-августе под озимые культуры при сравнительно высоких температуре и влажности зеленое удобрение быстро разлагается, в результате чего высвободившиеся подвижные элементы питания не полностью используются озимой зерновой культурой. Осенью или ранней весной неиспользованные элементы питания мигрируют в дренажные воды, то есть вымываются за пределы корнеобитаемого слоя. При поздней осенней заделке растительной массы или весенней заделки чизельными культиваторами мульчированного слоя сидерата, не запаханного с осени, создаются лучшие условия для сохранения и накопления гумуса в почве. И, наконец, на образование и накопление органического вещества в почве положительно влияет заделка бокового сидерата с измельченной соломой или другими органическими остатками, богатыми целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином. Эти и другие особенности влияния зеленого удобрения на накопление гумуса важно учитывать при составлении баланса органического вещества.

Действие зеленого удобрения более эффективно при соблюдении технологических приемов заправки сидератов. Подсевные сидераты в зависимости от назначения запахивают в разные сроки. Так, многолетний люпин запахивают на второй год жизни в фазе полного стеблевания – начала бутонизации под посадку яровизированного картофеля; в фазе бутонизации – начала цветения – под ранний картофель, гречиху и просо; в фазе полного цветения – под однолетние травы – предшественники озимых зерновых и озимого рапса. Первый укос донника белого используют на кормовые цели, а отросшую отаву в начале августа запахивают на зеленое удобрение. Сидераты запахивают полувинтовыми и винтовыми плугами с угло-снимами. По ходу движения трактора с плугом одновременно прикапывается нежная зеленая масса сидерата, что обеспечивает хорошую заправку надземной массы даже высотой более 90 см. Некоторые научно-исследовательские учреждения рекомендуют высокорослые сидераты измельчать, а затем запахивать. Безусловно, измельченная надземная масса способствует хорошей заделке сидерата, но при этом следует считаться с дополнительными затратами. После измельчения зеленой массы сидерат лучше запахивать на 3–4-й день в подсушенном виде.

Вслед за заправкой, например, многолетнего люпина высевают вико-овсяные, люпино-овсяные, пелюшковые и другие смеси. После уборки однолетних трав на корм пожнивные и корневые их остатки запахивают на 5–7 см мельче, чем был запахан сидерат, с таким расчетом, чтобы запаханную растительную массу многолетнего люпина, еще не разложившуюся, не выворачивать на поверхность. Такая прослойка является хорошей питательной средой для последующих озимых зерновых культур. Эффективен и другой способ: после заправки корневых и пожнивных остатков однолетних трав высевают крестоцветные культуры, которые поздно осенью убирают на корм или запахивают на зеленое удобрение под картофель ранних сроков посадки. На эрозионно опасных участках сидерат в качестве мульчи заделывают рано весной следующего года. Такая заправка почвы органическим веществом двух сидератов особенно важна на почвах низкого плодородия и способствует получению высоких урожаев картофеля, кукурузы и других культур с низкой себестоимостью.

Пожнивные сидераты запахивают поздно осенью (в конце октября), когда заканчивается вегетация растений. Хорошо заре-

комендовали себя при запашке люпина оборотные плуги. Узколиственный сидеральный люпин, даже достигший в высоту 65–70 см, прекрасно заделывается в почву. По запаханным пожнивным сидератам весной размещают ранние яровые культуры – картофель, кукурузу, сахарную и кормовую свеклу, яровые зерновые и др. На склоновых землях крутизной более 1,5–2,0° сидераты – сераделлу, райграс, крестоцветные – осенью можно оставлять не запаханными, они заделываются в виде мульчи весной. На легких супесчаных и песчаных почвах можно высевать некоторые яровые прямо в мульчу (кукуруза, силосные, ранние овощные и др.), предварительно заделав мульчу в почву дисковыми орудиями.

Озимые сидераты (озимая рожь с викой мохнатой, озимый рапс, озимая сурепица, перко и др.) можно использовать в двух направлениях: надземная масса скашивается на высоком срезе не менее 20–25 см на кормовые цели, а отросшая отава с корневыми и пожнивными остатками – на удобрение. После озимых сидератов целесообразно выращивать в качестве основных культур люпин кормовой, кукурузу, гречиху, просо, бобово-злаковые смеси и др. С целью недопущения большого разрыва между уборкой озимой промежуточной культуры и посевом основной целесообразно вместо пахоты применять чизельную обработку почвы. Она более производительна и экономически оправдана.

6.3. Зеленые удобрения – биологическая основа природоохранных технологий

Загрязнение окружающей среды с каждым годом возрастает, и человек обязан предпринять радикальные шаги по его снижению. В этом отношении промежуточные культуры могут сыграть незаменимую роль. Ни одна из существующих ныне технологий в борьбе с эрозионными процессами и миграцией элементов питания в грунтовые воды не может соперничать по эффективности с самими растущими растениями.

Резкое сокращение эрозионных процессов и миграции подвижных элементов питания в грунтовые воды, фитоценотический метод борьбы с сорняками, использование промежуточных культур в пожнивный период – эти и ряд других мер призваны значительно оздоровить окружающую среду в земледелии. Так, в системе мер противозерозионного земледелия растения выполняют важную агрофитомелиоративную роль. Растущие сидераты в ка-

честве промежуточных культур, особенно в паровых полях, гасят энергию ливневых дождей, а часть осадков задерживается растительным покровом, уменьшая тем самым склоновый сток. Падающая капля дождя при встрече с растительностью расплывается на мелкие и мельчайшие частицы, резко снижая свою ударную эрозионную способность. В то же время создаются лучшие условия для поглощения почвой выпадающих осадков. Корневая система сидератов (многолетнего и однолетнего люпина, донника, клеверов, эспарцета, райграса и других культур), выполняя противэрозионную, мелиорирующую роль, закрепляет почву, пронизывает ее глубокие слои, обеспечивая так называемый биологический вертикальный дренаж, за счет которого поверхностный сток воды легко просачивается в почву. Надземная часть многолетнего люпина, донника и других сидератов и корневая система с мульчирующими остатками обогащают почву органическим веществом, структурируют ее и способствуют снижению плотности, создавая тем самым оптимальные условия аэрации пахотного и подпахотного горизонтов. Все это способствует лучшему впитыванию ливневых осадков и талых вод, резкому снижению водной эрозии почвы. Исследованиями, проведенными на средне-смытом обыкновенном Черноземье с уклоном 7–8°, установлено, что искусственное дождевание в количестве 60 мм интенсивностью 2 мм/мин сокращало сток воды по запаханному сидератам на 46 % и смыл почвы – на 80 % по сравнению с чистым паром.

В последние годы с неустойчивым снежным покровом приобретают особую актуальность проблемы накопления на полях снега. Эту функцию успешно могут выполнять подсевные промежуточные культуры – многолетний люпин, донник, клевера, райграс и другие с пожнивными (стерневыми) остатками покровной культуры.

В исследованиях К.И. Довбана уборка покровной культуры озимой ржи с подсевом многолетнего люпина, донника и других культур на кормовые и сидеральные цели проводилась на высоком срезе – 30–35 см. Стерневые остатки такой высоты с надземной массой сидеральных культур являются хорошим средством для снегозадержания. Почва без растительности сильно промерзает, и талые воды беспрепятственно стекают в низины, овраги, балки, реки, унося с собой верхний плодородный слой почвы. Установлено, что почва в среднем за 3 года по зяблевой вспашке

промерзала: 10 декабря – на 4 см, 10 января – на 28, 10 февраля – на 35, 10 марта – на 49 см, а по фону незапаханного люпина – соответственно на 1, 16, 21 и 25 см.

Не только талые воды, но и ливневые дожди после рано убираемых культур приносят большой вред. Так, на участке, не покрытом растительностью после уборки льна, ливень смыл около 7 т/га почвы, а рядом вышедший из-под покрова озимой ржи многолетний люпин с пожнивными остатками ржи полностью защитил почву от смыва.

Сидеральные культуры можно успешно использовать для предотвращения водной эрозии в плодоводстве, ягодоводстве и виноградарстве. Сады в основном размещают на повышенных элементах рельефа, в связи с этим почва в междурядьях подвержена водной эрозии в большей степени, чем другие культуры на полях севооборота. Отсюда и природоохранные мероприятия в садах имеют ряд специфических особенностей. Здесь накапливается почти в 2 раза больше снега, чем на полях. Высота снежного покрова в среднем составляет 50–100 см, а около садозащитных полос – 150–200 см и более. В связи с этим чрезвычайно важно задержать талые воды, обеспечить условия проникновения влаги в почву, не допустить ее размывания. Посев сидератов без запахивания их на зиму будет способствовать наряду с другими мерами (мульчирование междурядий сада навозом, компостами, опилками и др.) постепенному ранневесеннему размораживанию почвы, предохранению ее от размывания.

Значительный ущерб земледелию приносит и дефляция почвы. Основной причиной, обуславливающей ветровую эрозию, является открытость поля ветрам. Ветровая эрозия проявляется главным образом осенью и весной, а в бесснежные месяцы – и зимой. Особенно податливы ветровой эрозии чистые пары и поля, обрабатываемые в летне-осенний периоды по так называемой полупаровой обработке. В отдельные годы при интенсивном проявлении ветровой эрозии вынос почвы в среднем по региону может составлять 55 т/га; при этом теряется около 140 кг азота, 92 кг фосфора и 300 кг калия и кальция с каждого гектара. Ветровая эрозия в Беларуси, как и во всей Нечерноземной зоне России, Полесья Украины, Прибалтийских и других государств, менее губительна, чем в степных районах с континентальным климатом. Однако и здесь в период засухи в осенне-зимний и часто в весен-

ний периоды, когда почва не покрыта густой растительностью, легкая распыленная масса почвы нередко сдувается, Однако во многих хозяйствах почвозащитная обработка почвы до сих пор не применяется. Известно, что сомкнутая растительность является надежным щитом в борьбе с водной и ветровой эрозией, тем не менее большие площади после уборки озимых и ранних яровых хлебов нередко пустуют, хотя вегетационный период позволяет выращивать пожнивные в качестве промежуточных культур.

Растительность не только предотвращает водную и ветровую эрозию, но и является преградой на пути миграции подвижных элементов питания в глубокие горизонты почвы, за пределы корнеобитаемого слоя, и в грунтовые воды. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, с промывными водами на песчаных и супесчаных почвах ежегодно теряется до 20 % азота, 15 % калия, на почвах, связанных по гранулометрическому составу, – соответственно 10 и 5 %. Оксиды кальция и магния на суглинистой почве выщелачиваются в количестве 77–86 кг/га, на супесчаной – 123–205 кг/га пашни. Последние данные, полученные с применением лизиметрических хроматографических колонок, показали, что соединения кальция и магния могут частично возвращаться с восходящими токами воды в поверхностный слой и снова включаться в биологический круговорот. Кальций возвращается в количестве 14,3–35,1 %, магний – 22,1–34,4 % от вымытого.

S. Jurgens-Geschwind считает, что ежегодно от вымывания теряется 229 тыс. т азота, или пятая часть от всего поступления с минеральными удобрениями. Сидераты не только более полно используют влагу в осенне-зимний и ранневесенний периоды, но и предотвращают миграцию подвижных элементов питания в глубокие слои почвы. Включение в севооборот промежуточных культур удлиняет период, во время которого почва остается покрытой растительным покровом до начала промерзания, удерживающим питательные вещества в круговороте почва – растения, улучшает водно-физические свойства почвы и значительно уменьшает потери за счет вымывания.

Особенно целесообразно на почвах слабого плодородия внедрять подсевные (подкровные) культуры, которые без дополнительной обработки почвы продолжают вегетировать и потреблять питательные вещества и после уборки основной зерновой культуры. В свою очередь, высевать озимые промежуточные

культуры на зеленое удобрение или кормовые цели выгоднее, чем пожнивные, так как в этом случае в позднеосенние, зимние и ранневесенние периоды элементы питания используются растениями, а не выщелачиваются. Пожнивные промежуточные бобовые культуры (однолетний люпин, пелюшка и др.) рекомендуется высевать незамедлительно после уборки зерновых совместно с измельченной соломой. Клубеньковые бактерии на корнях бобовых сидератов, развиваясь и отмирая, высвобождают биологический азот, который используется растением и одновременно способствует разложению заделанной в почву измельченной соломы. Таким образом, благодаря широкому использованию в пожнивный период подсеваемых, поживных и озимых сидератов можно предотвратить или свести до минимума потери питательных веществ, вымывание их в глубокие слои почвы за пределы корнеобитаемого слоя.

Большая роль сидеральным удобрениям принадлежит и при охране водных источников. При возделывании промежуточных культур в водоохраных зонах и защитных зонах питьевой воды следует отдавать предпочтение крестоцветным, фацелии и злаковым культурам или же их смесям. Они лучше бобовых усваивают подвижный азот. В травосмесях количество бобовых не должно превышать 30 %. Перед картофелем, выращиваемым после зерновых, можно использовать поживные крестоцветные культуры, а перед сахарной свеклой – подсолнечник.

При внесении навозной жижи целесообразно высевать сидераты, которые хорошо усваивают растворимый азот из жижи и почвы. Это резко снижает потери питательных элементов из пахотного горизонта.

В зонах питьевых вод рекомендуется высевать бобовые сидераты или же в смеси с долей бобовых не выше 30 % и запахивать их поздней осенью или весной. При таком сочетании обеспечивается усвоение азота последующими культурами и исключается его вымывание.

Внесение навозной жижи под посевы быстрорастущих крестоцветных или злаковых сидератов будет предотвращать попадание азота из пахотного горизонта в нижележащие слои почвы.

Потери минеральных соединений азота из почвы, лишенной растительности, происходят в результате миграции нитратов из корнеобитаемого слоя почвы в глубже лежащие горизонты и в

грунтовые воды, а также улетучивания из почвы газообразных форм азота, образующихся в процессе биологического восстановления нитратов. Если пахотные земли по возможности заняты от начала до конца вегетационного периода растущими растениями, то потери азота сводятся к минимуму. По данным многих зарубежных исследований, из почв, не занятых растениями, особенно легких по гранулометрическому составу, потери азота могут достигать 20–30 %.

Широкое внедрение промежуточных культур на зеленое удобрение и кормовые цели будет способствовать экологическому оздоровлению севооборотов, эффективной санитарной очистке полей от сорняков, вредителей и возбудителей болезней. Крестоцветные культуры являются мощным фактором, непрерывно воздействующим на микроорганизмы и играющим существенную роль в очищении почвы от инфекции. При использовании крестоцветных значительно усиливается профилактическое санитарное действие севооборота. Их можно с полной уверенностью рекомендовать для оздоровления микробиоценоза любых видов почв.

Под влиянием сидерации отмечено снижение токсикозных явлений в пахотном слое почвы. Отмечено, что пожнивная сидерация способствует борьбе с корневыми гнилями, поскольку обеспечивает очищение почвы от возбудителей болезней. Сотрудники Львовского сельскохозяйственного института изучали влияние поживной горчицы белой на численность наиболее распространенных в Львовской области вредителей сахарной свеклы. Установлено, что численность личинок свекловичной минирующей мухи была меньше в вариантах, где горчицу запахивали на зеленое удобрение. В другом опыте выявлено, что зеленое удобрение (горчица) снижало повреждение сахарной свеклы корнеедом в 1,6–1,7 раза по сравнению с контролем. При использовании зеленой массы горчицы на корм фитосанитарное значение таких посевов резко снижалось. Положительно влияло зеленое удобрение и на снижение заболеваемости сахарной свеклы церкоспориозом.

Одним из перспективных биологических методов, повышающих плодородие почвы и способствующих подавлению сорняков, сохранению и увеличению урожайности, является фитоценотический метод, интерес к которому во многих странах с каждым годом возрастает.

Фитоценотический метод борьбы с сорной растительностью основан на использовании конкурентных взаимоотношений культурных и сорных растений. В НИИ земледелия НАН Беларуси ученые установили высокую конкурентоспособность с сорняками редьки масличной и рапса ярового, которая, по мнению авторов, имеет и химическую природу вследствие аллелопатического влияния на такой злостный сорняк, как пырей ползучий. В опытах было установлено, что использование редьки масличной и рапса ярового в поукосных посевах способствовало гибели растений пырея ползучего на 72,0–74,2 %, а его корневищ – на 61,9–64,9 %; малолетних сорняков стало меньше на 89,9–92,2 %. Урожайность ячменя увеличилась на 1,2–1,3 т/га, или на 28 %. Гибель пырея ползучего ученые объясняют аллелопатическим воздействием крестоцветных культур, которые неблагоприятно влияют на физиолого-биохимические процессы растений-акцепторов, что приводит к угнетению их роста и развития и в конечном счете к гибели. Ряд ученых сходятся во мнении о том, что корневая система редьки масличной выделяет в почву ингибиторы, вызывающие в корневищах пырея синтез агропирена, парализующего функционирование их проводящей системы.

Аллелопатически активные вещества попадают в почву с корневыми выделениями при жизни растения, а также с пожнивными остатками полевых культур, на которых поселяется определенная микрофлора. Постепенно происходит смещение природного соотношения между отдельными видами микроорганизмов: численность одних резко падает, других – возрастает. В связи с этим биологически активные соединения не вовлекаются в круговорот веществ и накапливаются в почве, оказывая вредное воздействие на те или иные культуры.

В последние годы все чаще публикуются материалы по применению агрофитоценотического метода борьбы с сорняками, который заключается в создании искусственных растительных сообществ (агрофитоценозов) из высококонкурентных видов культурных растений, подавляющих сорняки. Так, искусственно созданные из многолетних трав фитоценозы успешно ведут борьбу с осотом полевым.

В Институте по болезням масличных и кормовых культур (Германия) было изучено влияние 23 различных сидеральных культур на степень поражения яровой пшеницы корневой гнилью

и ломкостью стебля. Установлено, что лучшее обеззараживающее действие оказали овес, озимый рапс, озимая сурепица, горчица, редька масличная, гречиха, фацелия, клевер александрийский и различные бобовые смеси, используемые в качестве сидератов.

Посевы крестоцветных промежуточных культур, особенно редьки масличной, сдерживают развитие сорных растений, поэтому появляется возможность уменьшить использование гербицидов или вообще отказаться от них.

6.4. Влияние зеленого удобрения на урожай сельскохозяйственных культур и его качество

Сидерация и урожай зерновых культур в узкоспециализированных зерновых севооборотах тесно связаны: урожайность снижается из-за уменьшения устойчивости зерновых к различным болезням и вредителям, засоренности посевов, снижения биологической активности и ухудшения физических свойств почвы, а при недостатке вносимых органических, макро- и микроудобрений падает к тому же и плодородие почвы. В связи с этим уменьшаются продуктивный стеблестой зерновых, число семян в колосе и масса зерен, снижается качество выращенного урожая.

При специализации и концентрации сельскохозяйственного производства во многих государствах вводят севообороты с высоким удельным весом зерновых культур. Эти недостатки в севооборотах, насыщенных зерновыми культурами, можно в значительной мере нейтрализовать введением промежуточных культур на зеленое удобрение и корм. При высоком удельном весе зерновых возрастают требования к разработке и освоению специализированных севооборотов. По многочисленным научным данным и практическим наблюдениям, включение в севообороты с 75%-ным насыщением зерновыми культурами промежуточных сидератов способствует снижению засоренности полей и поражаемости растений вредителями и болезнями. По данным З.А. Гаджибрагимова [3], на дерново-подзолистых почвах Центрального района Нечерноземной зоны России возможно насыщение полевых севооборотов зерновыми культурами до 83 % при использовании белой горчицы в качестве пожнивной культуры на зеленое удобрение. При насыщении севооборота зерновыми культурами от 50 до 83 % с запашкой пожнивного зеленого удобрения в чистом

виде и совместно с соломой получена наибольшая зерновая продуктивность специализированного севооборота – 3,35–3,37 т/га зерна, что на 66 % выше, чем в плодосменном севообороте.

В опытах В.Г. Лошакова [6] запаханная пожнивная белая горчица при различном насыщении севооборота зерновыми не только улучшала баланс органического вещества и элементов питания в почве, но и существенно повышала продуктивность севооборота. При запашке 20–22 т/га зеленой массы поживной горчицы в севообороте со 100%-ным насыщением зерновыми культурами получены такие же урожаи зерновых, как и в севообороте с многолетними травами, где зерновые занимали 60 % площади пашни, но без зеленого удобрения. Важно отметить и то, что на фоне запаханного сидерата эффективность фосфорно-калийных удобрений значительно увеличивалась, в то время как азотных – снижалась. Если на фоне без органических удобрений прибавка урожая кормовых единиц при внесении фосфорно-калийных удобрений составила 0,15 т/га, то по фону запашки всей растительной массы люпина – 0,64 т/га, а там, где запахивали корневые и поживные остатки, – до 0,76 т/га, или в 4–5 раз. На фоне же, где вносили небольшие дозы надземной массы, урожайность была значительно ниже. Так, если средний урожай ячменя и озимой ржи в 8-польном севообороте по фону без органических удобрений составил в контроле 1,66 т/га, по фосфорно-калийным удобрениям – 1,99, по полному минеральному удобрению (NPK) – 3,41 т/га, то при запашке всей растительной массы сидерального многолетнего люпина – соответственно 2,67; 3,01 и 3,79 т/га, при запашке только корневых и других остатков – 2,19; 2,76 и 3,72 т/га, при внесении одной надземной массы – 1,99; 2,16 и 3,61 т/га.

В длительных опытах в зоне Украинского Полесья было показано, что продуктивность севооборота в вариантах с применением сидерации в сочетании с минеральными удобрениями не уступала таковой с использованием навоза в сочетании с минеральными удобрениями в том же количестве, что и при выращивании сидератов. Уровень повышения продуктивности севооборота составил по варианту NPK+ многолетний люпин на зеленое удобрение 1,93 т/га кормовых единиц, NPK+ зеленоукосная рожь на сидерат – 2,12, NPK+ навоз – 2,10 т/га.

Этими опытами показана возможность замены навоза сидерацией без снижения продуктивности севооборота. Максималь-

ная продуктивность севооборота (7,85 т/га корм. ед.) получена в стационарном опыте при использовании навоза + NPK с сидерацией. Эти данные подтверждают выводы о том, что при разработке системы применения удобрений на отдаленных полях при недостатке навоза следует шире применять промежуточные культуры в качестве зеленого удобрения.

Сидерация и урожай крупяных культур. Зеленое удобрение в основном используют под озимые и яровые зерновые и пропашные культуры. Меньше внимания уделяется изучению влияния зеленого удобрения на урожай крупяных культур – гречихи, проса, риса и др. Но и те немногочисленные исследования, которые были посвящены вопросам сидерации при выращивании крупяных культур, подтверждают эффективность последних. Так, по сообщению Е.К. Алексеева, зеленая масса однолетнего люпина, запаханная под гречиху, значительно повышала ее урожай. Если принять контроль за 100 %, то запашка 18 т/га зеленой массы сидерата повышала урожай гречихи на 267 %, 36 т/га – на 353 %, а 54 т/га – на 420 % (в 4,2 раза больше, чем на контроле).

Таким образом, внесение минеральных удобрений совместно с навозом и компостами является лучшей формой обеспечения гречихи элементами питания. Органические удобрения, постепенно минерализуясь, более равномерно насыщают почву макро- и микроэлементами, обеспечивая питание растений в период максимальной в нем потребности. Аналогичные процессы протекают при запашке многолетнего люпина на фоне минеральных удобрений. При запашке его под гречиху весной на полную глубину пахотного слоя он разлагается постепенно, и по мере минерализации растительной массы питательные вещества, особенно биологический азот, поступают в растения в течение всего вегетационного периода, чего трудно добиться внесением только одних минеральных удобрений перед севом.

Сидерация и урожай пропашных культур. *Картофель*, как ни одна другая культура, требователен к условиям роста и развития. Почва, отводимая под картофель, должна быть хорошо аэрируемой, рыхлой, достаточно теплой и влагообеспеченной. Такие условия могут быть созданы при внесении оптимального количества органических удобрений. Важная роль при этом принадлежит возделыванию сидеральных промежуточных культур, которые не только обеспечивают посевы дешевым органическим ве-

ществом, но и способствуют улучшению структуры почвы, повышают ее плодородие, а также являются профилактическим средством против распространения болезней и вредителей в специализированных картофельных севооборотах. Результаты многолетних стационарных исследований и данные сельскохозяйственных предприятий Беларуси убедительно показывают положительное влияние промежуточных культур на урожайность и качество картофеля

В качестве промежуточных культур при возделывании картофеля применяли подсевной многолетний люпин, из пожнивных – узколистный сидеральный люпин, пелюшку, вику яровую, редьку масличную, горчицу белую, гречиху, фацелию, из озимых – вику озимую и рапс озимый. Каждое звено севооборота начиналось с картофеля, под который запахивали сидерат. Прибавка урожая клубней картофеля по фону люпина была выше, чем по фону навоза. Внесение фосфора, калия, а также их комбинации на фоне люпина увеличивало урожай клубней на 3,6–3,9 т/га. Растительная масса люпина способствовала и повышению крахмалистости клубней. Во всех вариантах, где вносили фосфорно-калийные удобрения, содержание крахмала в клубнях было на 0,95–1,15 % выше, чем на контроле. Повышение крахмалистости с одновременным ростом урожая позволило значительно увеличить выход крахмала с гектара. Во всех вариантах опыта на фоне люпина повышалось действие фосфорно-калийных удобрений). Важно подчеркнуть, что урожай картофеля, выращенный по многолетнему люпину, целесообразно использовать на семенные цели как более качественный посадочный материал. При посадке картофеля в следующем году клубнями, выращенными на фоне сидерата, урожай картофеля был на 3–3,5 т/га выше, чем при посадке клубнями, полученными по полным минеральным удобрениям без сидерата.

Сахарная свекла проявляет высокие требования к плодородию почвы, обеспеченности ее органическими и минеральными удобрениями. При отсутствии навоза хорошо отзывается на зеленое удобрение.

Подсевной многолетний люпин под сахарную свеклу запахивали осенью и затем сравнивали его действие с внесенным навозом (25 т/га). В среднем за два года запахивали по 29,5 т/га растительной массы люпина. Минеральные удобрения вносили в

дозе $N_{30}P_{45}K_{60}$. Результаты опыта показали, что урожай корнеплодов свеклы по люпину равнялся урожаю, выращенному по навозу, а выход ботвы был выше на 5,3 т/га). В корнеплодах свеклы, выращенной на фоне многолетнего люпина, увеличивается содержание общего и белкового азота, а количество небелковых форм азота имеет тенденцию к снижению. Повышенное содержание общего и белкового азота в корнях и общего азота в ботве сахарной свеклы на фоне многолетнего люпина, видимо, связано с тем, что коэффициент использования азота зеленого удобрения выше, чем азота навоза. Зеленое удобрение значительно повысило также содержание оксидов кальция и магния в корнях и ботве сахарной свеклы. Это увеличение объясняется тем, что глубоко идущая по отмершим корням многолетнего люпина корневая система свеклы извлекает кальций и магний из нижних слоев почвы в отличие от фона навоза. Фосфора и калия по фону люпина было меньше, так как во внесенном люпине этих элементов содержится меньше, чем в навозе. В целом урожай и качество сахарной свеклы по фону навоза и многолетнего люпина были практически одинаковыми.

Высокая эффективность применения пожнивных сидератов (горох и др.) отмечена в Червоноармейском районе Ровенской области Украины, в зоне малого Полесья. Если в среднем за три года урожайность свеклы при полном минеральном удобрении составила 40,7 т/га при сахаристости 17,6 % и сборе сахара 7,18 т/га, то при запашке горчицы с минеральными удобрениями – соответственно 44,9 т/га, 17,8 % и 7,99 т/га. При внесении 40 т/га навоза с минеральными удобрениями урожай корнеплодов составил 44,9 т/га при сахаристости 17,7 % и сборе сахара 7,89 т/га.

Исследованиями, проведенными на базе Курского НИИ АПП по выращиванию сахарной свеклы, установлена высокая эффективность эспарцета в качестве зеленого удобрения и биопрепарата – активатора почвенной микрофлоры (АПМ). Зеленую массу эспарцета запахивали под озимую пшеницу, после которой размещали сахарную свеклу.

Последствие сидерата на фоне навоза увеличило урожайность корнеплодов на 3,7 т/га и сахаристость на 0,01 % в сравнении с контролем. Наиболее эффективным был вариант, включающий сочетание сидеральной культуры, АПМ и $N_{60}P_{60}K_{60}$, где расчетный сбор сахара составил 5,99 т/га.

Кукуруза отличается повышенным потреблением питательных веществ и нуждается в почвах с высоким плодородием. Весьма эффективно влияет на урожай кукурузы и зеленое удобрение. В Херсонском сельскохозяйственном институте изучали влияние зеленых удобрений на урожай кукурузы при орошении. На зеленое удобрение выращивали в пожнивных посевах (после озимой пшеницы) горохо-овсяную смесь, урожай которой составил в среднем за три года 20,9 т/га. Количество микроорганизмов по фону зеленых удобрений в слое почвы 0–30 см было в 1,5–2 раза больше, чем на контроле, а при совместном применении зеленых и минеральных удобрений – в 2–3 раза. Повышение микробиологической активности способствовало получению более высоких урожаев кукурузы. На контроле в среднем за три года было получено 33,9 т/га кукурузы, при внесении зеленых удобрений – 47,6, а при сочетании зеленых и минеральных удобрений – 58,4 т/га.

В опытах на супесчаных дерново-подзолистых почвах Черниговской областной сельскохозяйственной опытной станции в среднем за 6 лет урожай зеленой массы кукурузы составил: на контроле – 28,9 т/га, по запаханному сидерату зеленоукосной ржи (57,63 т/га сухого вещества) – 33,7, при добавлении к сидерату навоза (20 т/га) и $N_{120}P_{90}K_{120}$ – 54,6 т/га, то есть на 25,7 т/га больше, чем на контроле. Урожай зерна кукурузы в среднем за четыре года равнялся: на контроле – 5,38 т/га; по сидерату – 5,85, по сидерату + $N_{120}P_{90}K_{120}$ – 7,10 т/га.

Урожайность кукурузы на зерно в среднем за четыре года на контроле (без пожнивных) составила 4,77 т/га, при использовании пожнивных посевов на кормовые цели – 5,15, на сидерат – 5,52 т/га, на более высоком удобрительном фоне – соответственно 6,89; 7,33 и 8,18 т/га.

Влияние сидератов на качество урожая сельскохозяйственных культур. А.П. Савенков изучал влияние зеленого удобрения на качество зерна озимой пшеницы, ячменя и корнеплодов сахарной свеклы. Результаты показали: если при выращивании озимой пшеницы по чистому пару, удобренному 20 т/га полупрепавшего навоза, в зерно-паро-свекловичном севообороте среднее содержание белка составило 12,75 %, клейковины – 30,23 %, стекловидность – 77,5 %, натурная масса – 789 г/л, масса 1000 зерен – 41,9 г, то в занятом зерно-травяно-свекловичном севообо-

роте с донником (зеленая масса на корм) эти показатели соответственно равнялись 13,25; 33,57; 81,6; 814,0 и 43,7. Более высокие показатели получены и при использовании первого укоса донника на корм, а отавы – на удобрение. В севооборотах по донниковому и донниково-сидеральному парам на протяжении двенадцати лет одиннадцать раз было получено зерно, по качеству соответствовавшее сильным пшеницам первой группы, а в севообороте по чистому пару – зерно, соответствовавшее сильным сортам пшеницы лишь второй группы. Сбор сырого протеина с гектара по донниковым парам был в 2,6 раза выше, чем по чистому пару.

Донниковый и сидерально-донниковый пары оказывали положительное влияние на качество не только первой культуры, но и в последствии. Так, сахаристость корнеплодов сахарной свеклы, идущей после озимой пшеницы, составила в последствии чистого пара 18,56 %, в последствии донникового пара – 19,35, а в последствии сидерально-донникового пара – 19,62 %. Сбор сахара по донниковому пару в сравнении с чистым составил 118 %, а по сидерально-донниковому – 132 %.

Содержание белка в зерне ячменя в последствии (третья культура) по чистому пару составило 13,61 %, по донниковому – 14,11 %, а по донниково-сидеральному – 14,34 %, или на 0,71 % выше чистого пара.

Литературные данные показывают, что не только бобовые, но и злаковые и крестоцветные сидераты оказывают положительное влияние на качество возделываемых сельскохозяйственных культур. Так, по данным С.Ф. Ивановой, в стационарном полевом опыте на Почвенно-агрономической станции им. В.Р. Вильямса ТСХА Подольского района Псковской области на среднесуглинистой слабокультуренной почве при изучении специализированных севооборотов с насыщением зерновыми от 50 до 100 % выявлено положительное влияние горчицы белой в качестве промежуточной пожнивной культуры не только на урожай, но и на качество зерна овса.

Таким образом, данные отечественных и зарубежных авторов показывают, что увеличение содержания белка, крахмала и, главное, незаменимых аминокислот, в том числе лизина, может быть достигнуто не только селекционным методом, но и благодаря агротехническим приемам, в данном случае с помощью сидерации, используя при этом бобовые, злаковые и крестоцветные

культуры. Особенно большое значение имеют многолетний люпин, донник и ряд других бобовых сидератов, которые не требуют для своего роста дополнительного внесения азотных удобрений. Они сами накапливают с помощью клубеньковых бактерий биологический азот и благотворно влияют на качество выращиваемых продуктов.

Растительная масса многолетнего люпина, запаханная на полную глубину пахотного слоя вместе с пожнивными остатками озимой ржи, постепенно разлагаясь, обеспечивает последующие культуры сбалансированным питанием на протяжении всего периода вегетации, а это способствует формированию высокого урожая и повышает качество зерна, клубней картофеля, корнеплодов сахарной свеклы и других культур. Получение более высокого качества урожая сельскохозяйственных культур неразрывно связано с уменьшением засоренности поля и снижением поражаемости культур от болезней и вредителей.

Таким образом, произрастая в промежутке между основными культурами, сидераты выполняют огромную экологическую, почвозащитную, агрохимическую, санитарную роль в современном земледелии. Эта роль определяется следующими факторами:

1. Снижается водная и ветровая эрозия почвы.
2. Значительно предотвращается миграция элементов питания в глубокие слои почвы.
3. Улучшаются физические свойства почвы:
 - нормализуется водный и воздушный режимы;
 - происходит оструктурирование почвы;
 - образуются более устойчивые водопрочные агрегаты;
 - разуплотняются подпахотные слои.
4. Улучшаются биологические свойства почвы:
 - снижается засоренность почвы за счет затенения и аллопатического действия сидератов;
 - уменьшается повреждение сельскохозяйственных культур вредителями и болезнями;
 - оздоравливается почвенная микрофауна;
 - активизируется малый биологический круговорот веществ;
 - увеличивается продуцирование углекислого газа почвой;
 - повышается ферментативная активность почвы.
5. Происходит накопление в почве органического вещества,

биологического азота и других элементов питания:

– стабилизируется содержание гумуса в пахотном и подпахотном слоях почвы (или происходит его накопление);

– за счет клубеньковых и свободноживущих бактерий и микроорганизмов накапливается биологический азот;

– происходит усвоение труднодоступных элементов питания из глубоких слоев почвы и обогащение ими пахотного слоя.

6. Повышаются урожайность и качество выращиваемых сельскохозяйственных культур.

7. Снижается себестоимость получаемой продукции и увеличивается рентабельность.

Вместе с тем при возделывании сидератов в качестве промежуточных культур следует учитывать нежелательные побочные действия, которые могут отрицательно влиять на их эффективность.

1. В засушливое время при недостатке влаги в почве после промежуточных культур возможны низкоурожайные изреженные посевы.

2. Рано посеянные поживные крестоцветные культуры (редька масличная, горчица, рапс и др.) на плодородных почвах могут достигать высоты 1,0–1,2 м. Для удовлетворительной их заделки требуются дополнительные затраты или необходимо запахать их в фазе бутонизация – начало цветения, при высоте растений не более 60–70 см.

3. Подсевные сидераты (многолетний люпин, донник и др.), запаханые осенью или ранней весной, отрастают и могут стать источником засорения посевов основных культур. Необходимо соблюдать биологические особенности сидератов, сроки их заделки, а также применять агротехнические и химические средства для борьбы с отрастанием.

4. На невыровненной поверхности поля неравномерно скошенные донник и другие культуры на кормовые цели (до высоты 10 см) не наращивают отавы для соответствующего их использования. Высота стерни донника должна быть не ниже 15–20 см.

5. Подсевные бобовые сидераты под высокоурожайными зерновыми культурами выше 4,0–5,0 т/га выпадают на 50–80 %, а иногда и полностью.

6. Поукосные сидераты, планируемые под озимые зерновые, могут сильно иссушать почву.

7. Крестоцветные и злаковые сидераты нуждаются в оптимальном внесении азота (60–90 кг/га д. в.), без которого наращается слабая растительная масса.

8. Большая растительная масса промежуточной культуры, запаханная на дно борозды, может в некоторой степени препятствовать проникновению корней основной культуры в глубину, что приводит к снижению, а не к повышению урожайности.

9. Низкий урожай растительной массы сидерата (поздние посевы, засуха, слабое плодородие и т. д.) резко снижает эффективность зеленого удобрения.

10. Более целесообразно запахивать надземную массу сидерата в подвяленном (подсушенном) виде. Запашка ее зеленой массы на полную глубину (22–25 см) на средних и тяжелых суглинистых почвах может привести первоначально не к минерализации, а к гниению органического вещества, что негативно сказывается на первоначальном росте основной культуры, идущей по запаханному сидерату.

Литература

1. Бердников А. М. Научное обоснование применения зеленых удобрений в современной земледелии на дерново-подзолистых почвах Полесья УССР: автореф. дис.... канд. с.-х. наук. – Минск, 1990.

2. Бурнацев М. Г., Мирзоев М. М., Бобылев Н. П. Промежуточные культуры как фактор интенсификации земледелия и окультуривания почв. – Орджоникидзе, 1986. – 18 с. Деп. в ВНИИТЭИСХ № 149 ВС-86.

3. Гаджибрагимов З. А. Влияние пожнивного зеленого удобрения на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность специализированных зерновых севооборотов : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1989.

4. Гродзинский А. М. Санитарная роль крестоцветных культур в севообороте // Аллелопатия и продуктивность растений : сб. науч. тр. Центр. респ. бот. сада АН УССР. – Киев, 1990.

5. Карашук И. М., Ошаров И. И. Донник – ценная парозанимающая культура // Земледелие. 1980. № 3.

6. Лошаков В.Г. Промежуточные культуры в севооборотах Черноземной зоны. – М.: Россельхозиздат, 1980.

7. Мелуа Р. Влияние зеленых удобрений на микробиологическую деятельность почвы под посевами кукурузы // Сортовая агротехника зерновых и кормовых культур при орошении. – Кишинев, 1979.

8. Петушок Н. И., Сапронов Н. М., Дубкин В. М. Биологические элементы земледелия // Сахарная свекла. – 2000. – № 7.

9. Сергеев Г.Я., Каверович В.В., Костенко Т.А. Влияние препарата «Байкал ЭМ-1» на скорость разложения соломы озимой пшеницы // Надежда Планеты. – 2006. – № 4.
10. Усманов Ю.А. Зеленое удобрение. – Уфа : Башкирское кн. изд-во, 1988.
11. Шпаар Д., Маковски Н. Возделывание рапса. – М., 1995.
12. Роль органических удобрений в повышении плодородия дерново-подзолистых почв / И.А. Юшкевич [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений : межвед. темат. сб. – Вып. 8. – Минск : Ураджай, 1977.
13. Gander F. Vetrna a vodnierozi v ZD Polesvice // Uroda-podauroda Casopis pro Rostliowvyrobu. – 1986. – № 11. – P. 522–525.
14. Debruck J. Grundurung-nochein Baustein der Bodenfruchtbarkeit // Die Zukkerrube. – 1983. – № 4. – S. 5–10.
15. Jiirgens-Geschwind S. Die stickstoffbilanzintensiven Ackerbauanhand von Lisime-ter-Versuchen und Bilanzrechnungenaus der Praxis «Mitteilungen für den Landbau BASF». – 1974. – 2: 3–31.
16. Matsuda M. et al. Studies on the rotation of upland crops 11. Yield trends of crops in continuons cropping and several rotation systema over the 42-year experiments. – Japan. J. Crop Sc. 1980, 49, 4:548-558418.
17. Simenez-Osornio T.I., Gliessman S.R. Allelopathic interference in a wild mustard (*Brassica campestris* L) and Broccoli (*Brassica oleraces* L. var *Italica*) intercrop agroecosystem // Alielophemicals. Role in agriculture and forestry / edit. G.R. Walier, ACS. Washington D.C. – 1987. – P. 262–264.

Глава 7. МОНИТОРИНГ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

7.1. Методологические основы мониторинга рекультивированных земель

В настоящее время мониторинг понимается как система повторяющихся наблюдений за определёнными объектами или явлениями (компонентами окружающей природной среды).

Мониторинг возник как система наблюдений и анализа состояния природной среды и, в первую очередь, загрязнений и эффектов, вызываемых ими в биосфере. Его цель состоит в научном обосновании универсальной системы наблюдений и контроля окружающей природной среды, системы оценки её состояния, прогнозирования будущего для эффективного использования природных ресурсов в интересах человеческого общества.

Задачами мониторинга являются: наблюдение за состоянием биосферы, оценка и прогноз её состояния; определение степени антропогенного воздействия на окружающую среду, выявление факторов и источников такого воздействия, а также степени их воздействия [1].

Структурная схема мониторинга представлена на рисунке 7.1.

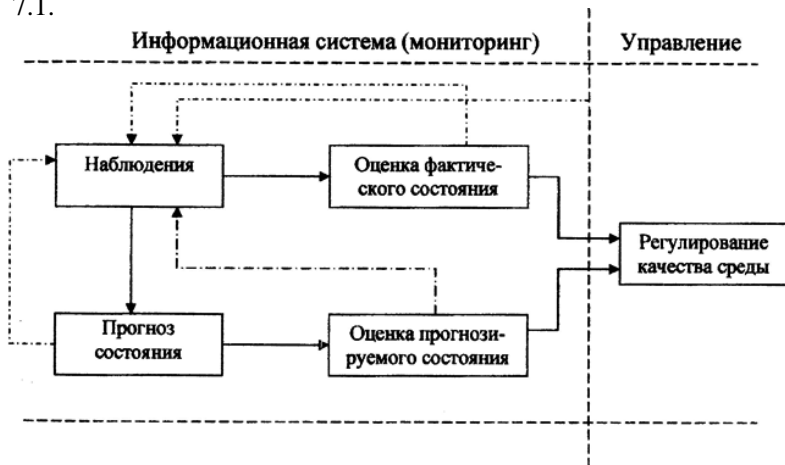


Рис. 7.1. Блок-схема систем мониторинга [1]

Мониторинг не включает в себя деятельность по управлению качеством среды, он служит источником информации для принятия экологически значимых решений.

Основные методологические принципы мониторинга были сформулированы И.П. Герасимовым [2]. К ним относят:

1. Системность, комплексность, научность.

Наблюдения при мониторинге должны осуществляться квалифицированными специалистами различного профиля (экологами, географами, почвоведомы, ботаниками и др.) по согласованным программам покомпонентных исследований в соответствии с системной организацией окружающей среды. Таким образом будут обеспечены информативность и эффективность проводимого мониторинга.

2. Биоцентричность, чувствительность.

Обеспечение соблюдения нормативных показателей качества окружающей среды и их улучшение достигаются только при сохранении почв и растительности (как основных средообразующих компонентов экосистем) и механизмов, обеспечивающих их самовосстановление, а также самоочищению нарушенных сред (атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод). Индикаторами изменения абиотических условий среды и уровня загрязнения отдельных сред являются некоторые группы живых организмов (педобионты, мхи, лишайники, микобиота, бентосные организмы, водоросли, хвоя деревьев, земноводные животные, мелкие млекопитающие), наиболее восприимчивые к изменению показателей состояния экосистем.

3. Пространственная и структурная сопряжённость покомпонентных наблюдений.

При выборе местоположения базовых пунктов мониторинга, определении перечня наблюдаемых показателей и периодичности проведения наблюдений необходимо учитывать приуроченность конкретных экосистем в ландшафте, удалённость их от источников негативных воздействий, особенности территориальной структуры почвенного и растительного покровов, распределения ареалов обитания фауны и путей сезонных миграций.

4. Непрерывность, периодичность, многоуровневость (иерархичность), разномасштабность. Это позволяет отражать динамические изменения состояния биотических компонентов на разных территориальных уровнях исследования (биоценоз, экосистема,

ландшафты разных иерархических уровней) с учётом различий естественных сезонных, межгодовых и многолетних режимов их функционирования.

5. Индивидуальность измерений и описаний контролируемых показателей состояния ключевых объектов.

Это достигается при установлении и выборе наиболее уязвимых, значимых, а также типичных, доминирующих на территории объектов, местообитаний, и систематическом долговременном документировании результатов наблюдений для определения тенденций и интенсивности происходящих изменений.

6. Достоверность и единство результатов мониторинга достигаются за счёт использования стандартных методов и методик сбора, обработки, хранения, транспортировки, подготовки и анализа образцов и проб, а также применения сертифицированных стандартных методов, методик и апробированных критериев при статистической обработке и анализе полученных результатов, что обуславливает подконтрольность, воспроизводимость, упорядоченность и структурность создаваемой информационной базы мониторинга, а также возможность контроля качества и повышения достоверности разрабатываемых прогнозов изменения состояния окружающей среды.

В настоящее время существуют разные уровни и виды мониторинга. По типам загрязнений мониторинг принято делить на базовый или фоновый, глобальный, региональный и импактный, по способам ведения – авиационный, космический, дистанционный, по задачам – прогностический. Применяется деление мониторинга на фоновый и импактный; экосистемный (по иерархии экосистем, агросистем и урбосистем) и компонентный (по экологическим компонентам) [3].

При осуществлении мониторинга могут выполняться как регулярные систематические стандартные наблюдения, так и специализированные, периодически повторяемые исследования. При этом качественно и количественно характеризуется состояние каждого природного компонента ландшафта. Мониторинг может выполняться отдельно для каждого компонента природы или проводиться комплексно – для всех компонентов [4].

Особенно необходимо проведение мониторинга биологической рекультивации, поскольку на этом этапе создаётся искусственный биогеоценоз – сложнейшая система, включающая попу-

ляции растений, животных и микроорганизмов. Необходимым условием организации управления его качеством является экологический мониторинг.

Под экологическим мониторингом понимают разнообразные системы наблюдений за изменениями состояния окружающей среды в пространстве и во времени, вызванные антропогенными причинами и позволяющие оценивать и прогнозировать развитие этих изменений. Его задачами являются:

- наблюдение за источниками антропогенного воздействия;
- наблюдение за факторами антропогенного воздействия;
- наблюдение за изменениями, происходящими в окружающей среде под влиянием антропогенного воздействия;
- наблюдение за состоянием здоровья населения, проживающего в зонах влияния техногенных факторов;
- анализ данных, оценка и прогноз изменений состояния природной среды в целом и отдельных её компонентов под влиянием воздействующих факторов;
- разработка системы управления и оптимизации антропогенного воздействия на окружающую среду.

В настоящее время разработаны и применяются различные классификации экологического мониторинга: по характеру решаемых задач, уровням организации, природным средам, за которыми ведутся наблюдения, и т. д. (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Классификация экологического мониторинга [1]

Мониторинг источников воздействия	Источники воздействия			
Мониторинг факторов воздействия	Физические		Биологические	Химические
Мониторинг состояния биосферы	Природные среды			
	Атмосфера	Океан	Поверхность суши с реками и озерами, подземные воды	Биота
	Геофизический мониторинг			Биологический мониторинг

По мнению Т.С. Чибрик и других [5], мониторинг нарушенных ландшафтов имеет свои особенности: во-первых, он проводится на территории, которая испытала катастрофическое антропогенное воздействие; во-вторых, он необходим для того, чтобы проследить формирование биоты с момента оживления абиотически мертвых пространств. На нарушенных территориях чаще всего осуществляют локальный (биоэкологический) и импактный мониторинг, а именно биологический, который является частью экологического мониторинга и представляет собой систему слежения за ответной реакцией биоты.

В.С. Николаевский описывает биологический мониторинг как определение состояния живых систем на всех уровнях организации и их отклика на загрязнение среды [6]. Его цель – наблюдение за состоянием биоты на нарушенной территории. Этот процесс включает в себя сбор данных, их обработку и анализ с целью прогнозирования развития и научно обоснованного управления формирующимися экосистемами.

А.З. Глухов и др. [7] предлагают при фитомелиорации нарушенных территорий изучение динамики формирования популяций фитомелиорантов осуществлять на основе популяционного мониторинга.

Концепция популяционного мониторинга базируется на том, что состояние популяций фитомелиорантов и их адаптационные параметры отображают состояние окружающей среды. При этом виде биологического мониторинга используют формирующиеся популяции фитомелиорантов, определяя их структурно-функциональные отклонения от нормы или сходство параметров, изменения и тенденции динамики. Мониторинг популяций растений в техногенных экотопах даёт возможность ботанического прогнозирования, познания внутривидового разнообразия, установления механизмов адаптации видов в условиях техногенеза. Он может использоваться для регулярного наблюдения за состоянием и динамикой процесса биологической рекультивации техногенных территорий на основе учёта индикационных параметров формирования популяций растений-мелиорантов и сопоставления с данными анализа состояния эдафотопов рекультивированных территорий.

Как отмечают А.Г. Дюкарев и Н.Н. Пологова, наиболее сложной проблемой любого мониторинга является выбор пара-

метров наблюдения. Существующие параметры разрабатываются для отдельных биотических компонентов или определённых уровней их организации [8]. К общим параметрам можно отнести фотосинтетическую активность, годичный прирост биомассы, видовое разнообразие, структуру сообщества и сбалансированность трофической цепи, проективное покрытие или плотность доминирующих видов, спектр жизненных форм и возрастного состава (табл. 7.2).

Любые наблюдения должны проводиться в строгом соответствии со стандартными методиками, существующими критериями и оценками.

Таблица 7.2

Параметры оценки состояния [13]

Тип оцениваемой системы	Параметры
Ландшафт	Радиационный баланс, рельеф, защищённость грунтовых вод, приход и расход осадков, биопродуктивность
Фация, биогеоценоз	Запас живой и мертвой биомассы, её ежегодные приросты, соотношение первичной и вторичной продуктивности, скорость деструктивных процессов и углеродного цикла
Биоценоз	
Фитоценоз	Видовой состав и спектр жизненных форм, проективное покрытие, возрастная структура, ежегодные приросты, семеношение
Зооценоз	Видовое разнообразие, плотность популяции и видов индикаторов, трофическая и функциональная структура, плодовитость, смертность и продолжительность жизни в онтогенезе, соотношение полов и возрастов
Почвы	Катионно-обменные и окислительно-восстановительные свойства, гумусное и структурное состояние, влагоёмкость и водопроницаемость
Экосистема	Баланс тепла и влаги, фотосинтезирующая активность, трофность, прирост и деструкция органического вещества, сбалансированность структуры компонентов, эко- и биоформы индикаторов

На рекультивированных землях организация и проведение мониторинга необходимы для прогнозирования изменения состояния компонентов восстанавливаемой геосистемы. Такие исследования проводили на рекультивированных золоотвалах. Вы-

полняли мониторинг фиторазнообразия, поскольку формируемый при рекультивации фитоценоз считается наиболее информативным компонентом ландшафта.

Помимо развивающихся на рекультивированных территориях растительных сообществ, к средообразующим компонентам геосистемы относят почвенный покров. Его формирование происходит в результате очень длительного почвообразовательного процесса. При этом все компоненты ландшафта принимают то или иное участие в образовании почв. Ведущим фактором почвообразования является растительность. В связи с этим мониторинг, проводимый на рекультивированных землях, в том числе урбанизированных территорий, должен, кроме исследования процессов формирования фитоценоза, включать наблюдения за изменениями, происходящими в рекультивационном слое.

Методической основой мониторинга на рекультивированных территориях может служить предлагаемая система показателей, которая предусматривает:

1. Отбор образцов рекультивационного слоя в динамике для анализа на содержание: нитратного азота; подвижного фосфора; обменного калия; поглощённого натрия; поглощённого кальция; поглощённого магния; рН водной вытяжки; солевого состава в водной вытяжке; органического вещества; тяжёлых металлов; гранулометрический и микроагрегатный состав. Результаты анализов в динамике позволят судить о питательном режиме и об изменениях, происходящих в рекультивационном слое.

2. Наблюдения за глубиной проникновения и накоплением массы корневой системы многолетних трав в динамике позволят судить об отторжении органической массы корневой системы по горизонтам рекультивационного слоя и о происходящих почвообразовательных процессах.

3. Наблюдения за ростом, развитием и продуктивностью многолетней травосмеси. Полученные результаты позволят установить величину биологической массы отторгаемых растительных остатков для пополнения органическим веществом рекультивационного слоя и о процессах гумусообразования в нём.

4. Наблюдения за динамикой густоты стояния растений многолетней травосмеси позволят определить выпадение растений конкретных культур и изреживание плотности посевов травосмеси на рекультивированной территории.

5. Наблюдения за динамикой засорённости и типами преобладающих сорных растений позволят судить о типах сорняков и о толерантности растений в созданном фитоценозе.

6. Отбор образцов растительной массы травосмеси на общий анализ, в том числе на содержание тяжёлых металлов. Результаты анализа растительной массы травосмеси помогут принять решение об утилизации биомассы за пределами рекультивированного объекта или пополнении рекультивационного слоя органическим веществом за счёт отторгаемой биомассы растений.

7. Наблюдения за фотосинтетической деятельностью посевов многолетней травосмеси позволят определить, насколько эффективно используется энергия солнечной радиации в условиях рекультивированной территории.

Предлагаемый состав показателей мониторинга рекультивированных объектов, периоды проведения наблюдений, а также используемые методики приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3

Состав показателей мониторинга рекультивированных земель

Показатели мониторинга	Используемые методы, нормативные документы	Период проведения
1	2	3
Содержание в динамике в рекультивационном слое: – нитратного азота – подвижного фосфора – обменного калия – поглощённого натрия – поглощённого кальция – поглощённого магния; – рН водной вытяжки; – солевого состава в водной вытяжке; – органического вещества; – тяжёлых металлов; – гранулометрический и микроагрегатный состав	ГОСТ 26951-86 ГОСТ 26205-91 ГОСТ 26205-91 ГОСТ 26950-86 ГОСТ 26487-85 ГОСТ 26487-85 ГОСТ 26423-85 ГОСТ 26424-26428-85 ГОСТ 26213-91 РД 52.18.191-89 ГОСТ 12536-79	Каждые 3–5 лет

Продолжение таблицы 7.3

1	2	3
Глубина проникновения корневой системы многолетних трав в динамике	Методика Н.З. Станкова	В начале вегетации (май), в конце вегетации (сентябрь)
Рост, развитие и продуктивность многолетней травосмеси	Методика ВНИИ кормов	В начале вегетации (май), в конце вегетации (сентябрь)
Густота стояния растений многолетней травосмеси в динамике	Методика ВНИИ кормов	В начале вегетации (май), в конце вегетации (сентябрь)
Засорённость и типы преобладающих сорных растений	Методика ВНИИ кормов	В период вегетации (начало, середина и конец вегетационного периода)
Содержание питательных веществ и тяжёлых металлов в биомассе травосмеси	Методика ВНИИ кормов, ГОСТ 26929-94, ПНДФ 14.1: 2.22-95	В конце вегетации (сентябрь) каждые 3–5 лет
Фотосинтетическая деятельность травосмеси	Методика А.А. Ничипоровича	В период вегетации

Таким образом, проводимый на рекультивированных землях мониторинг с использованием предлагаемой системы показателей не только позволит оценить успешность проведённой биологической рекультивации, но и поможет обосновать необходимость применения мелиоративных мероприятий для ускорения восстановления нарушенных компонентов геосистемы.

7.2. Результаты мониторинга рекультивированного золоотвала

Биологическая рекультивация второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС с применением технологии фитомелиорации была выполнена в 2004 г. С 2005 г. по настоящее время на рекультивированном золоотвале проводится мониторинг [10–14].

В результате проведённого ранней весной 2005 г. обследования посевов была отмечена хорошая перезимовка растений травосмеси. Сохранность их после зимнего периода составила свыше 90 %. В весенний период вегетации высота растений эс-

парцета составляла в среднем 25 см, злаков – 20 см. Глубина проникновения корневой системы эспарцета достигла 29 см, а пырея и костреца – 23 см (рис. 7.2).

Питательный режим травосмеси поддерживали внесением минеральных удобрений. Весной проводили подкормку азотными удобрениями дозой N_{60} кг/га д. в., а в конце вегетационного периода вносили сложные минеральные удобрения. Следует отметить, что наилучший рост и развитие растений травосмеси наблюдались на вариантах с улучшенным питательным режимом (рис. 7.3). К концу вегетации корневая система многолетних трав достигла золошлакового субстрата.



Рис. 7.2. Рекультивированная секция в вегетационный период 2005 г.

Проведённое осенью обследование рекультивированного золоотвала позволило отметить успешное развитие как культивируемых растений травосмеси, так и сопутствующей сорной растительности. Количество сорняков на площади 1 м^2 в среднем составляло 3–5 шт.

На отдельных повторностях вариантов опыта в конце вегетации 2005 г. производилось подкашивание биомассы травосме-

си. Было установлено, что на повторностях вариантов опыта без подкашивания оставшаяся сухая масса трав способствовала задержанию снежного покрова, что положительно сказывалось на перезимовке трав, а также значительно снижало испарение с поверхности опытных делянок. Кроме этого, опад листьев на поверхность делянок пополнял рекультивационный слой органическим веществом.



Рис. 7.3. Растительный покров золоотвала в конце вегетации 2005 г.

Проведённое ранней весной 2006 г. обследование территории рекультивированного золоотвала показало, что сохранность растений травосмеси после зимнего периода 2005–2006 гг. была хорошей и в среднем составила 86 %. В начале вегетационного периода высота растений травосмеси в среднем составляла: эспарцета – 33 см, пырея и костреца – 30 см. Глубина проникновения корневой системы эспарцета достигала 40 см. У злаков корневая система была более развитой, глубина её проникновения в среднем составляла 43 см. В течение вегетации хорошему росту и развитию растений травосмеси способствовало внесение минеральных удобрений дозой $N_{90}P_{90}K_{60}$ кг/га д.в. (рис. 7.4).



Рис. 7.4. Растительность золоотвала в вегетационный период 2006 г.

Произошло увеличение количества видов сорной растительности. Их плотность на 1 м^2 в среднем составляла 8–10 шт. Наиболее интенсивно зарастали сорняками участки золоотвала, где минеральные удобрения вносили повышенной на 30 % дозой.

На золоотвале наблюдалось восстановление фауны: были замечены поселения кротов, муравейники и лисьи норы (рис. 7.5).

Началось зарастание участков с минимальным рекультивационным слоем и не имеющих покрытия. Растительность на этих участках существенно отличалась от растительности остальной территории. Она была разреженной и находилась в угнетённом состоянии.

В 2006 г. было установлено изменение окраски рекультивационного слоя. В конце вегетационного периода цвет поверхности рекультивационного слоя на опытных делянках изменился с жёлтого на серый.

К концу вегетации высота растений эспарцета в среднем равнялась 60 см, глубина проникновения корневой системы достигла 47 см. В связи с тем, что эспарцет – двухлетняя культура, на всех вариантах опыта было отмечено его выпадение. Высота

злаков в осенний период 2006 г. составила в среднем 66 см. Глубина проникновения их корневой системы достигала 45 см.



Рис. 7.5. Лисьи норы на золоотвале, 2006 г.

Ранней весной 2007 г. было проведено обследование состояния посевов на рекультивированном золоотвале. В результате отмечена их хорошая сохранность, которая в среднем составила 85 % и более. В начале вегетации на посевах травосмеси вносили минеральные удобрения дозой $N_{90}P_{90}K_{90}$ кг/га д.в., что оказало положительное влияние на рост и развитие растений травосмеси и сорной растительности. Произошло существенное увеличение видового разнообразия растительности. Количество сорняков в среднем составляло 13 шт./м².

Высота растений травосмеси в начале вегетации в среднем составляла: у эспарцета – 30 см, у злаков – 28 см. Глубина проникновения корневой системы растений эспарцета и злаков была примерно одинаковой и в среднем была равна 46–47 см. Растения эспарцета к концу вегетации в среднем имели высоту 47 см, а растения пырея и костреца – 60 см. Корневая система изучаемых культур в этот период достигла глубин 50–52 см, было отмечено их проникновение в субстрат золоотвала. Проведённое после зимнего периода 2007–2008 гг. обследование растительности на

рекультивированном золоотвале позволило отметить, что сохранность растений многолетней травосмеси в среднем составила 87 %. В начале вегетации высота растений травосмеси в среднем составляла: эспарцета – 32 см, злаков – 30 см.

Как уже отмечалось, корневые системы растений достигли золошлакового субстрата. Глубина проникновения корневой системы эспарцета в среднем составляла 52 см, злаков – 50 см (рис. 7.6). Наблюдения за состоянием посевов многолетней травосмеси, проводимые в течение вегетационного периода 2008 г., позволили отметить хорошую осеменённость растений эспарцета и его расселение на золоотвале.



Рис. 7.6. Корневая система эспарцета, 2008 г.

Наблюдалось дальнейшее увеличение видового разнообразия растительности. Засорённость посевов в среднем составляла 15 шт./м². Среди представителей сорной растительности преобладали: горчак ястребинковый, василёк синий, чертополох колючий, щетинник зелёный и болиголов пятнистый.

На пятый год после проведения биологической рекультивации рекультивированный золоотвал визуально практически

ничем не отличался от прилегающей ненарушенной территории. При обследовании его поверхности были обнаружены муравейники, лисьи норы, следы обитания змей, кротов, ящериц, гнёзда птиц, что свидетельствует о том, что рекультивированный золоотвал в целом представлял собой территорию, вполне комфортную для обитания представителей фауны (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Представители фауны на золоотвале, 2008 г.

К концу вегетации высота растений эспарцета в среднем составляла 49 см, а злаковых культур – 62 см. В этот период глубина проникновения корней бобовой культуры была равна 58 см, а злаков – 56 см.

Осенью 2008 г. на золоотвале были отобраны образцы рекультивационного слоя и переданы в аналитическую лабораторию ФГБНУ «РосНИИПМ». Результаты микроагрегатного анализа приведены в таблице 7.4. Анализ представленных результатов позволил установить преобладание в образцах физического песка 98,44 % (горизонт 0–20 см) и 78,28 % (горизонт 20–40 см), содержание физической глины составило 1,56 и 21,72 %. Большой процент составляли фракции размером 0,25–0,05 мм и 0,05–0,01 мм.

Таблица 7.4

**Микроагрегатный состав образцов рекультивационного слоя
(осень 2008 г.)**

Горизонт, см	% содержание фракций, размер фракций, мм						Физический песок	Физическая глина
	>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001		
0-20	-	89,53	8,91	0,40	1,04	0,12	98,44	1,56
20-40	-	1,28	77,00	11,30	9,84	0,58	78,28	21,27

Результаты анализа содержания подвижных форм питательных веществ в рекультивационном слое второй секции золотвала Новочеркасской ГРЭС приведены на рисунках 7.8 и 7.9.

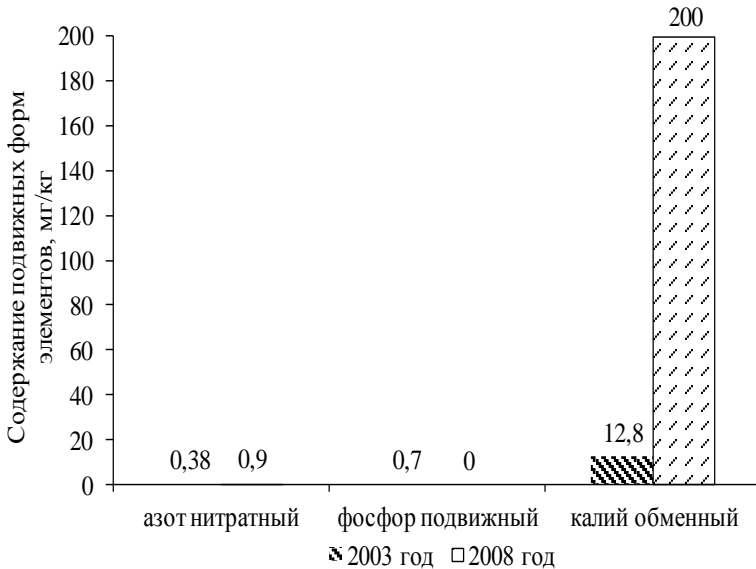


Рис. 7.8. Содержание подвижных форм питательных элементов в слое 0–20 см субстрата золотвала

Анализ показателей, приведённых на рисунке 7.10, позволил установить, что в слое 0–20 см произошло повышение содержания нитратного азота на 0,52 мг/кг в сравнении с первоначальным отбором проб, выполненным до проведения биологической рекультивации с использованием фитомелиорации в 2003 г.

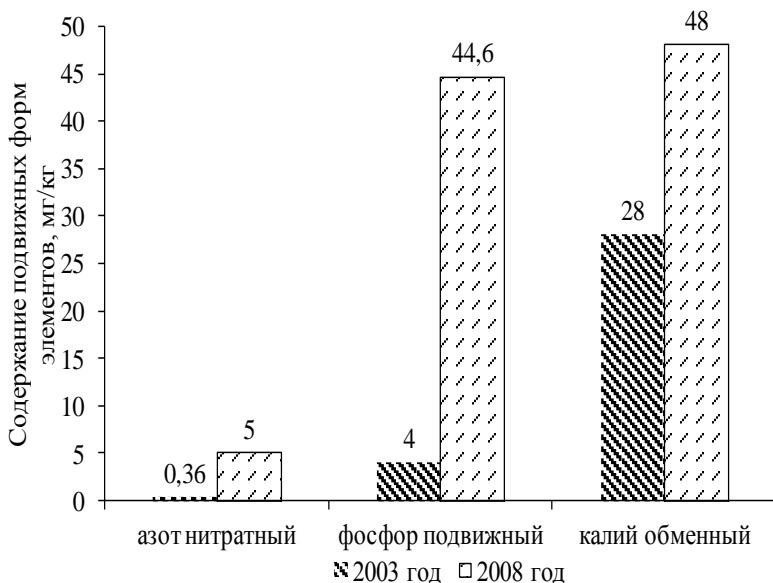


Рис. 7.9. Содержание подвижных форм питательных элементов в слое 20–40 см субстрата золоотвала

Подвижный фосфор в слое 0–20 см отсутствует, что объясняется его использованием растениями многолетней травосмеси «эспарцет + пырей + кострец». Образцы рекультивационного слоя также характеризуются повышенным содержанием обменного калия – 200 мг/кг. В слое 20–40 см, напротив, отмечено повышение содержания подвижных форм питательных элементов в сравнении с результатами анализов, выполненных в 2003 г. (рис. 7.11). После проведения фитомелиорации произошло увеличение содержания органического вещества (гумуса): в слое 0–20 см – на 0,06 %, в слое 20–40 см – на 2,6 %.

Установлено снижение значений pH в сравнении с данными 2003 г. (рис. 7.11). После проведения фитомелиорации на золоотвале произошло снижение щёлочности рекультивационного слоя. Значения pH уменьшились в слое 0–20 см на 1,01, в слое 20–40 см – на 1,19. Этому способствовало внесение комплексных минеральных удобрений, которое проводилось с целью улучшения питательного режима рекультивационного слоя золоотвала.

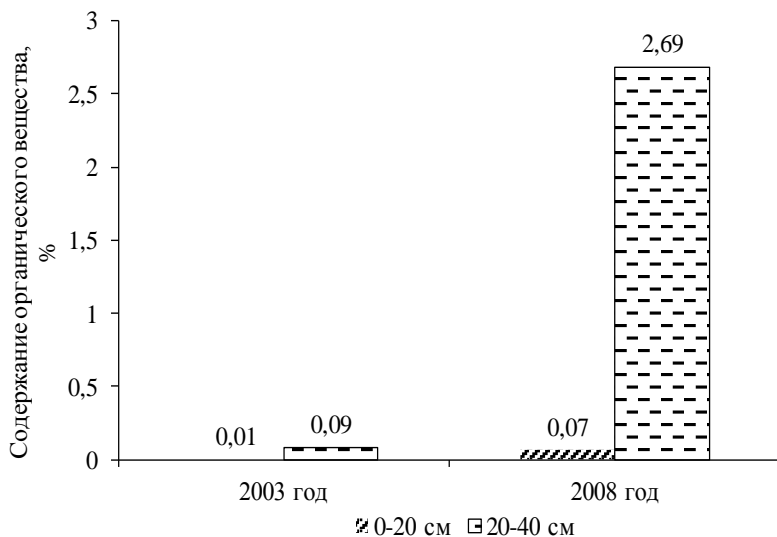


Рис. 7.10. Содержание органического вещества в субстрате золоотвала

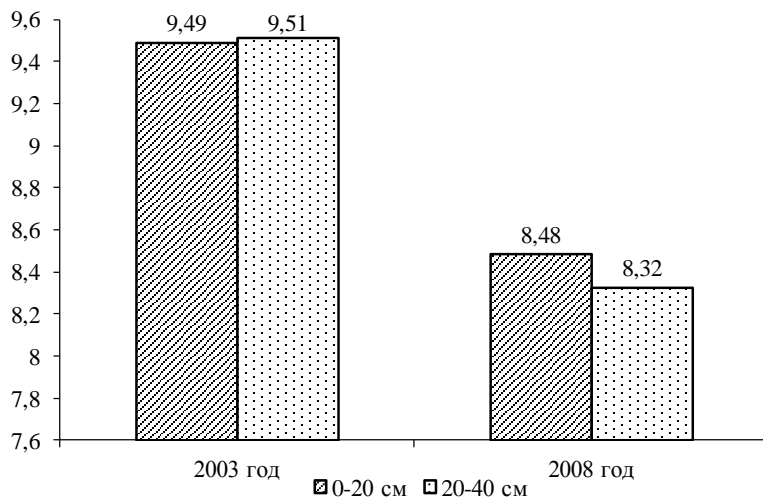


Рис. 7.11. Результаты анализов образцов рекультивационного слоя на pH

Анализ солевого состава водной вытяжки показал снижение содержания практически всех ионов в слое 0–20 см: сумма ионов

составила 0,056 г, сухой остаток – 0,071 г, что на 0,045 и 0,025 г меньше в сравнении с первоначальными данными (табл. 7.5 и 7.6).

Таблица 7.5

Результаты анализа солевого состава водной вытяжки образцов рекультивационного слоя, 2003 г.

Горизонт, см	Cl ⁻ , г/мг-экв	SO ₄ ²⁻ , г/мг-экв	HCO ₃ ⁻ , г/мг-экв	Ca ²⁺ , г/мг-экв	Mg ²⁺ , г/мг-экв	Na ⁺ , г/мг-экв	K ⁺ , г/мг-экв	Сумма ионов, г	Сухой остаток, г
0 – 20	0,001	0,034	0,039	0,009	0,010	0,001	0,007	0,101	0,096
	0,03	0,72	0,64	0,48	0,85	0,045	0,089		
20 – 40	0,001	0,026	0,042	0,006	0,011	0,001	0,0008	0,087	0,100

Таблица 7.6

Результаты анализа солевого состава водной вытяжки образцов рекультивационного слоя, 2008 г.

Горизонт, см	Cl ⁻ , г/мг-экв	SO ₄ ²⁻ , г/мг-экв	HCO ₃ ⁻ , г/мг-экв	Ca ²⁺ , г/мг-экв	Mg ²⁺ , г/мг-экв
0 – 20	0,002	0,004	0,036	0,010	0,002
	0,05	0,08	0,60	0,50	0,20
20 – 40	0,002	0,036	0,036	0,016	0,006
	0,05	0,77	0,60	0,80	0,50

Результаты анализа обменных оснований позволили отметить, что содержание поглощённого натрия в слое 0–20 см составило 0,36 мг-экв/ 100 г субстрата, в слое 20–40 см его не обнаружено, содержание кальция составило соответственно по вышеуказанным слоям 4,04 и 5,48 мг-экв/100 г, магния – 1,56 и 2,92 мг-экв/100 г соответственно. Количество обменных оснований (Na, Ca, Mg) по сравнению с первоначальными результатами анализов, выполненных в 2003 г., несколько увеличилось (табл. 7.7 и 7.8).

Анализ результатов определения содержания тяжёлых металлов (валовая форма) в рекультивационном слое показал, что в горизонте 0–20 см произошло существенное снижение содержания меди, кадмия, цинка и свинца (рис. 7.12). Так, содержание Cu снизилось на 3,16 мг/кг, Cd – на 0,132, Zn – на 6,25, Pb – на 1,14 мг/кг. Вместе с тем установлено увеличение содержания никеля в горизонте 0–20 см рекультивационного слоя на 0,28 мг/кг. Не-

сколько иная ситуация наблюдается при анализе содержания тяжёлых металлов в слое 20–40 см (рис. 7.13).

Таблица 7.7

Результаты анализа обменных оснований, 2003 г.

Горизонт, см	Результаты анализа, мг-экв/ 100 г субстрата		
	Na	Ca	Mg
0–20	0,32	3,90	1,32
20–40	-	5,02	2,46

Таблица 7.8

Результаты анализа обменных оснований, 2008 г.

Горизонт, см	Результаты анализа, мг-экв/ 100 г субстрата		
	Na	Ca	Mg
0 – 20	0,36	4,04	1,56
20 – 40	-	5,48	2,92

В результате проведённых анализов установлено резкое увеличение содержания в растениях практически всех тяжёлых металлов: Cu – в 9,8 раза, Zn – в 3,3, Ni – в 5,5, Pb – в 7,8 раза. Это объясняется тем, что корневые системы растений травосмеси достигли золошлакового субстрата.

При проведении мониторинга в 2008 г. также осуществлялся отбор образцов растительной массы культивируемой травосмеси «эспарцет + пырей + кострец». Результаты анализов представлены в таблицах 7.9 и 7.10. Анализ сухой массы растений травосмеси показал, что содержание в ней тяжёлых металлов значительно превышало их количество в надземной биомассе. Так, содержание Cu в корнях костреца в 2,4 раза больше, чем в биомассе, Cd – в 2,2, Zn – в 2, Ni – в 3 раза.

Установлено, что Pb в биомассе костреца содержалось в 1,6 раза больше, чем в корнях. Растения пырея в корнях содержали тяжёлых металлов в сравнении с биомассой в 2,3 раза больше, лишь содержание Pb в корнях было в 1,2 раза меньше, чем в биомассе. Содержание тяжёлых металлов в корнях эспарцета, аналогично пырею и кострецу, значительно превышало их количество в биомассе. В корнях эспарцета содержалось больше, чем в биомассе Cu – в 1,5 раза, Cd – в 1,3, Zn – в 2 раза. А вот Pb и Ni в корнях эспарцета было меньше, чем в биомассе соответственно в 3,5 и 1,8 раза.

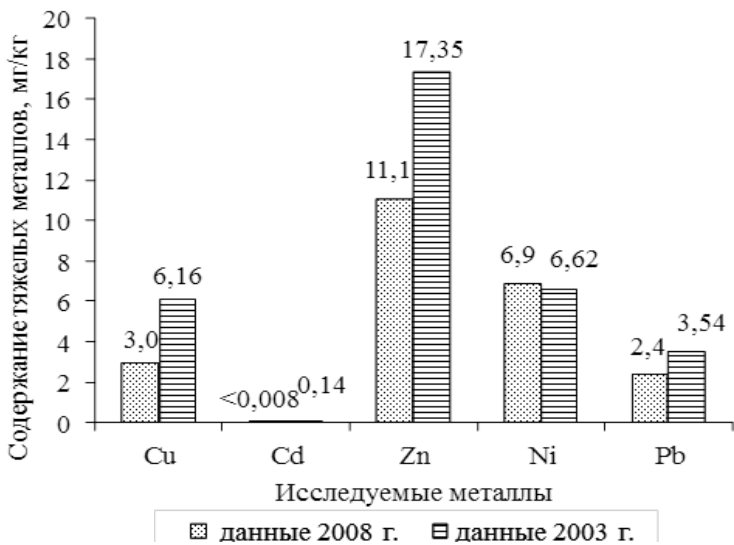


Рис. 7.12. Содержание тяжёлых металлов в горизонте 0–20 см рекультивационного слоя золоотвала

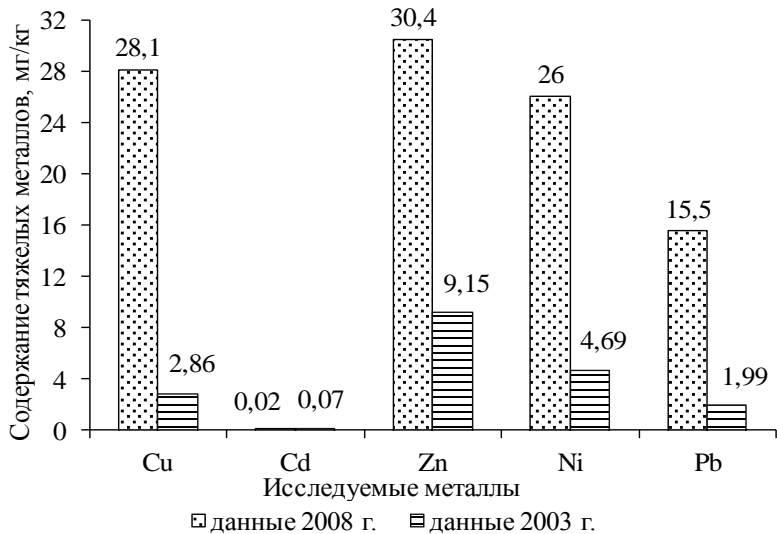


Рис. 7.13. Содержание тяжёлых металлов в горизонте 20–40 см рекультивационного слоя золоотвала

Таблица 7.9

**Содержание тяжёлых металлов (валовая форма) в растениях
травосмеси**

Вид образца	Содержание тяжёлых металлов, мг/кг сухого вещества растения				
	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni
Кострец (корни)	4,15	0,24	23,50	0,76	5,50
Кострец (биомасса)	1,70	0,11	11,50	1,23	1,80
Пырей (корни)	5,30	0,11	21,60	0,90	5,60
Пырей (биомасса)	1,85	0,09	7,25	1,10	2,50
Эспарцет (корни)	6,00	0,10	19,40	0,19	4,00
Эспарцет (биомасса)	3,90	0,08	9,60	0,67	7,20

Таблица 7.10

Содержание питательных веществ в растениях травосмеси

Вид образца	Результаты анализов				
	K ₂ O, %	K, %	P ₂ O ₅ , %	P, %	N _{общий} , %
Кострец (корни)	1,14	0,95	0,05	0,02	1,38
Кострец (биомасса)	0,53	0,44	нет	нет	1,00
Пырей (корни)	1,01	0,84	нет	нет	0,83
Пырей (биомасса)	2,18	1,81	0,05	0,02	1,48
Эспарцет (корни)	1,17	0,97	0,02	0,01	1,54
Эспарцет (биомасса)	1,59	1,32	0,25	0,11	1,92

Анализ сухой массы растений травосмеси на содержание питательных веществ показал, что в биомассе костреца содержалось наименьшее количество NPK в сравнении с пыреем и эспарцетом. Наибольшее содержание общего азота отмечено в биомассе и корнях эспарцета и составило соответственно 1,92 и 1,54 %, что на 0,92 и 0,16 % больше, чем у костреца, и на 0,44 и 0,71 % – чем у пырея. Результаты мониторинга позволяют сделать заключение о протекающих положительных процессах, способствующих увеличению органического вещества в рекультивационном слое в виде биомассы и корневой системы растений травосмеси, что может быть достигнуто лишь с помощью культур-фитомелиорантов в результате использования фитомелиорации при биологической рекультивации золоотвала. Кроме того, снижение содержания тяжёлых металлов в верхнем 0–20 см горизонте рекультивационного слоя также является положительным фактором, достигнутым в результате проведённой на золоотвале фитомелиорации.

В течение вегетационного периода 2009 г. наблюдалось интенсивное отрастание надземной массы травосмеси. К концу вегетации высота растений самопроизвольно расселившегося по поверхности золоотвала эспарцета в среднем составила 50 см. Высота растений пырея и костреца достигла 65 см. К рассматриваемому периоду растения сформировали мощную, глубоко проникающую корневую систему. Глубина проникновения корней эспарцета была равна 63 см, а у злаковых культур – 60 см. Расселившиеся по золоотвалу растения эспарцета успешно росли и развивались, следовательно, эта бобовая культура вполне пригодна для проведения фитомелиорации при биологической рекультивации нарушенных земель.

Обследование рекультивированного золоотвала, выполненное ранней весной 2009 г., позволило установить, что сохранность посевов травосмеси была хорошей и в среднем составила более 80 %. Растения травосмеси успешно росли и развивались на золоотвале. В начале вегетации высота растений эспарцета в среднем составляла 34 см, а злаковых культур – 32 см. В этот период глубина проникновения корневой системы растений эспарцета в среднем была равна 58 см. Пырей и кострец также сформировали мощную корневую систему, глубина проникновения которой в среднем составила 56 см.

Так же, как и в предыдущие годы, на посевы травосмеси вносили минеральные удобрения. Это положительно влияло на рост и развитие не только растений эспарцета, пырея и костреца, но и сорной растительности, среди которой преобладали следующие виды: амброзия полыннолистная, горчак ястребинковый, василёк синий, пырей ползучий, чертополох колючий, щетинник зелёный, болиголов пятнистый. Наблюдалось увеличение количества сорняков на 1 м², которое в среднем составило 18 шт.

В 2010 г. наблюдения на золоотвале были продолжены. После зимнего периода 2009–2010 гг. сохранность растений травосмеси была хорошей (в среднем 80 %), что подтвердило проведённое ранней весной обследование рекультивированной территории. В начале вегетации наблюдалось быстрое отрастание травосмеси. В этот период высота растений эспарцета составила 33 см, злаков – 30 см. Глубина проникновения корневой системы эспарцета была равна 63 см, пырея и костреца – 60 см.

Экстремальные климатические условия летнего периода вегетации 2010 г. отрицательно сказались на росте и развитии как растений культивируемой травосмеси, так и сорной растительности. Было отмечено существенное замедление роста и развития растений, однако их гибели не наблюдалась. В этот период осуществлялся регулярный осмотр рекультивированного золоотвала с целью предупреждения появления очагов возгорания на его территории.

Осенний период 2010 г. был более влажным, что позволило растениям травосмеси лучше подготовиться к перезимовке. К концу вегетации высота бобовой культуры в среднем была равна 46 см, а злаков – 61 см.

Растения травосмеси имели мощную корневую систему, что, очевидно, позволило им перенести экстремально жаркое лето 2010 г., используя влагу из золошлакового субстрата. В конце вегетации глубина проникновения корневой системы эспарцета в среднем составляла 66 см, пырея и костреца – 63 см.

Обследование территории второй секции золоотвала после зимнего периода 2010–2011 гг. показало, что сохранность посевов была хорошей и в среднем составила 70 %.

Климатические условия весеннего периода были благоприятными для роста и развития растений травосмеси. К концу весны высота растений эспарцета была равна 64,0 см, глубина проникновения корневой системы составила 63,0 см. Высота пырея и костреца в этот период в среднем составила 72,0 см, а глубина проникновения корневой системы этих трав достигала 69,0 см.

Климатические условия летнего периода способствовали хорошему росту и развитию растений травосмеси. Несмотря на засушливый июль, растения продолжили рост и развитие в условиях золоотвала. Увеличение видового разнообразия растительного покрова. Количество сорных растений на 1 м² в среднем составило 22 шт. Рекультивированную секцию активно заселяли представители фауны: лисы, кроты, ящерицы, змеи, птицы.

Осенние месяцы 2011 г. были хорошо обеспечены осадками. К концу вегетационного периода высота бобовой культуры в среднем составляла 89 см, а злаков – 97 см. Наряду с большой надземной массой растения сформировали мощную, глубоко проникающую корневую систему, которая позволяла им выживать в условиях золоотвала. Проведённые в конце вегетационного

периода замеры позволили установить, что глубина проникновения корневой системы эспарцета в среднем была равна 66 см, а пырея и костреца – 72 см.

В соответствии с порядком проведения мониторинга на второй секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС осенью были отобраны образцы рекультивационного слоя с горизонтов 0–20 и 20–40 см на аналитический анализ.

Результаты микроагрегатного анализа приведены в таблице 7.11. Анализ приведённых данных позволил установить, что в исследуемых образцах преобладает физический песок. В горизонте 0–20 см рекультивационного слоя его содержание составляет 95,26 %, в горизонте 20–40 см – 77,12 %. Однако по сравнению с показателями микроагрегатного анализа, выполненного в 2008 г., произошло снижение содержания физического песка в горизонтах 0–20 и 20–40 см на 3,18 и 1,16 % соответственно. Содержание физической глины в образцах, напротив, увеличилось: в горизонте 0–20 см на 3,18 %, в горизонте 20–40 см – на 1,16 %.

Таблица 7.11

**Микроагрегатный состав образцов рекультивационного слоя
(осень 2011 г.)**

Горизонт, см	% содержание фракций, размер фракций, мм						Физический песок	Физическая глина
	>0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001		
0-20	-	87,07	8,19	1,65	2,09	1,00	95,26	4,74
20-40	-	34,62	42,50	9,15	10,79	2,94	77,12	22,88

Результаты содержания подвижных форм питательных элементов в рекультивационном слое в динамике приведены на рисунках 7.14 и 7.15. Анализ приведённых на рисунке 7.14 данных позволил установить, что в горизонте 0–20 см рекультивационного слоя увеличилось содержание нитратного азота и подвижного фосфора по сравнению результатами 2003 и 2008 гг. Установлено снижение содержания обменного калия на 47,6 мг/кг по сравнению с данными 2008 г., что объясняется его использованием растениями. Однако в целом по сравнению с первоначальными результатами анализов, выполненными до проведения биологической рекультивации в 2003 г., полученные данные свидетельствуют об увеличении содержания питательных веществ в рекультивационном слое золоотвала, что произошло за счёт внесения минеральных удобрений.

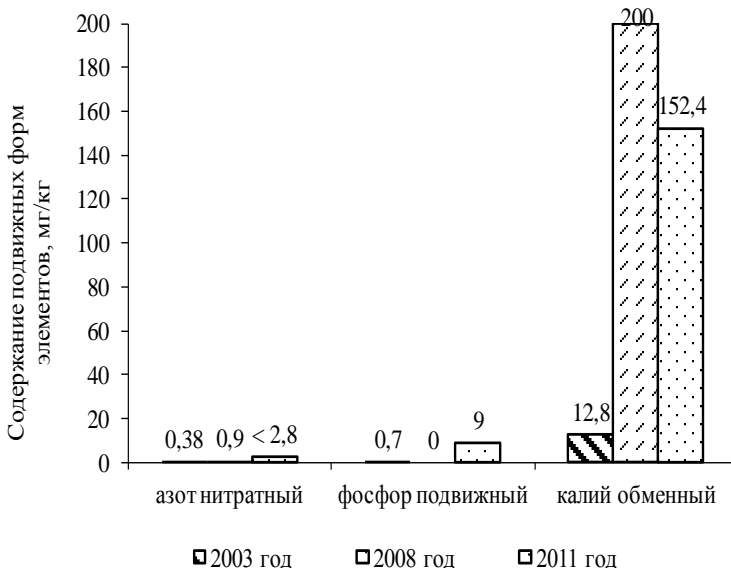


Рис. 7.14. Содержание подвижных форм питательных элементов в слое 0–20 см субстрата золоотвала

В 2011 г. в слое 20–40 см снизилось содержание нитратного азота и подвижного фосфора по сравнению с результатами анализов, выполненных в 2008 г. Образцы содержали повышенные количества обменного калия – в 3,3 раза по сравнению с 2008 г., в 5,7 раза по сравнению с 2003 г. (рис. 7.15).

Проведённые анализы показали, что на рекультивированной секции золоотвала сохранилась тенденция увеличения содержания органического вещества в субстрате (рис. 7.16). Так, в 2011 г. в горизонте 0–20 см оно составило 0,16 %, что на 0,09 % больше по сравнению с данными 2008 г. Содержание органического вещества в горизонте 20–40 см субстрата в 2011 г. составило 3,23 % и на 0,54 % превысило данные 2008 г. Сравнение результатов анализов, выполненных через 7 лет после проведения биологической рекультивации с использованием фитомелиорации, показало существенное увеличение содержания органического вещества в субстрате, что свидетельствует о положительных процессах, происходящих на рекультивированной второй секции золоотвала.

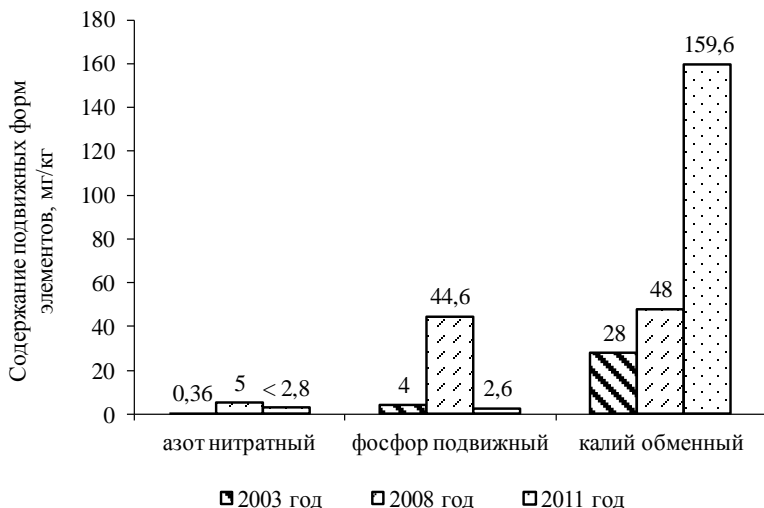


Рис. 7.15. Содержание подвижных форм питательных элементов в слое 20–40 см субстрата золоотвала

Анализ данных рисунка 7.17 показал, что в 2011 г. продолжилось снижение значений pH: в слое 0–20 см – на 0,16, в слое 20–40 см – на 0,19. В целом, за период, прошедший с момента первоначального отбора образцов, выполненного до проведения биологической рекультивации золоотвала с использованием разработанной технологии, одним из элементов которой было внесение минеральных удобрений, произошло уменьшение щёлочности рекультивационного слоя.

Результаты анализа солевого состава водной вытяжки образцов рекультивационного слоя приведены в таблице 7.12. В 2011 г. отмечалось некоторое увеличение суммы ионов как в горизонте 0–20 см, так и 20–40 см, по сравнению с результатами анализов, выполненных в 2008 г.

Результаты анализа обменных оснований, приведённые в таблице 3.13, показали, что содержание поглощённого натрия в слое 0–20 см увеличилось по сравнению с результатами 2003 и 2008 гг., в слое 20–40 см он отсутствует. Также установлено увеличение содержания кальция и магния в горизонтах 0–20 и 20–40 см рекультивационного слоя из-за того, что основная масса корневой системы растений травосмеси расположена в золошлаковом субстрате.

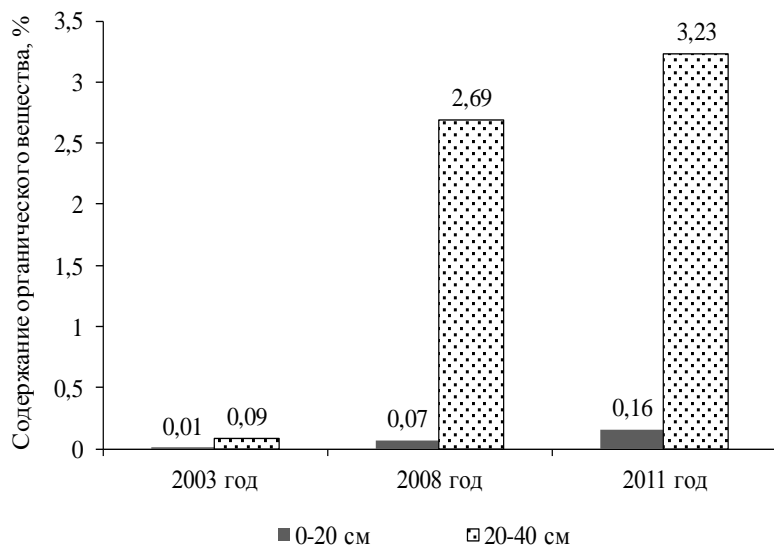


Рис. 7.16. Содержание органического вещества в субстрате золоотвала

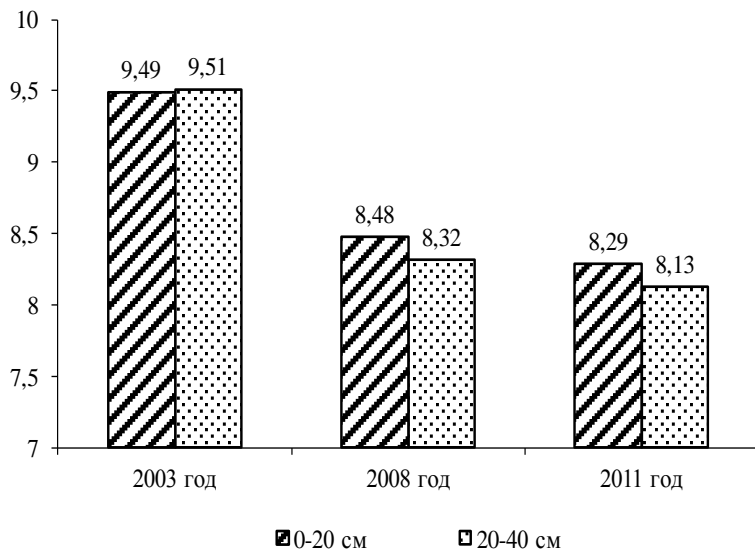


Рис. 7.17. Результаты анализа образцов рекультивационного слоя на рН

Таблица 7.12

**Результаты анализа солевого состава водной вытяжки образцов
рекультивационного слоя, 2011 г.**

Гори зонТ, см	Cl, г/МГ- ЭКВ	SO ₄ ²⁻ , г/МГ- ЭКВ	HCO ₃ ⁻ , г/МГ-ЭКВ	Ca ²⁺ , г/МГ-ЭКВ	Mg ²⁺ , г/МГ-ЭКВ	Na ⁺ , г/МГ-ЭКВ	K ⁺ , г/МГ-ЭКВ	Сумма ионов, г	Сухой оста- ток, г
0–20	0,004	0,003	0,033	0,013	0,003	0,001	0,002	0,059	0,078
	0,06	0,006	0,56	0,52	0,25	0,021	0,031		
20–40	0,003	0,038	0,034	0,019	0,009	0,003	0,0012	0,102	0,121
	0,059	0,89	0,53	0,86	0,41	0,12	0,024		

Таблица 7.13

Результаты анализа обменных оснований, 2011 г.

Горизонт, см	Результаты анализа, мг-ЭКВ / 100 г субстрата		
	Na	Ca	Mg
0 – 20	0,38	4,19	1,61
20 – 40	–	5,53	3,08

Результаты анализов образцов рекультивационного слоя второй секции золоотвала на содержание тяжёлых металлов показаны на рисунках 7.18 и 7.19.

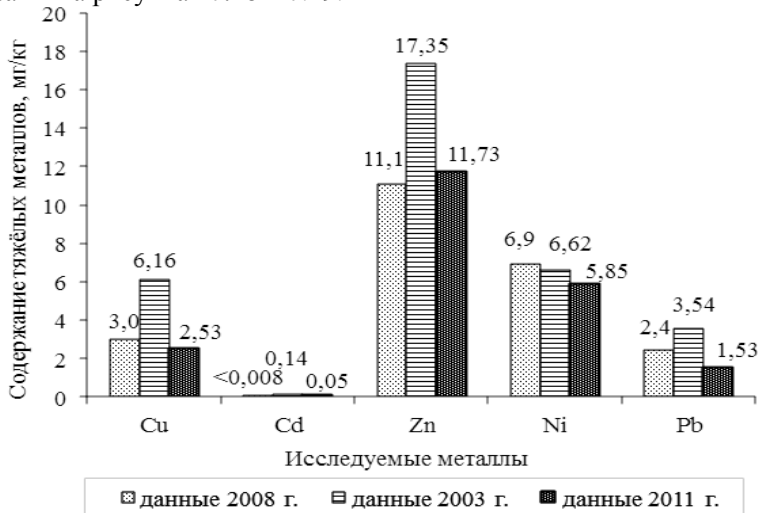


Рис. 7.18. Содержание тяжёлых металлов в горизонте 0–20 см рекультивационного слоя золоотвала

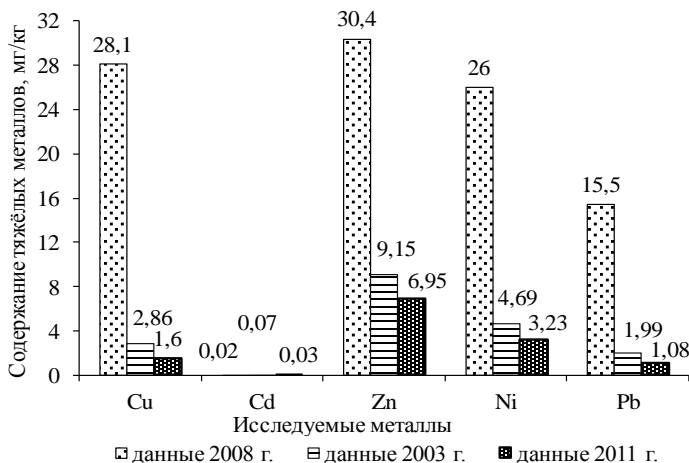


Рис. 7.19. Содержание тяжёлых металлов в горизонте 20–40 см рекультивационного слоя золоотвала

В 2012 г. исследования на рекультивированной секции золоотвала были продолжены. Обследование растительного покрова, выполненное в начале вегетационного периода, показало, что сохранность посевов травосмеси в среднем составляла 68 %.

Весной наблюдалось интенсивное отрастание растений травосмеси, этому способствовали благоприятные метеорологические условия этого периода. Высота растений эспарцета в среднем составляла 49 см, а злаков – 58 см. Глубина проникновения корневой системы эспарцета в среднем достигала 63 см, злаков – 69 см. В 2012 г. продолжилось произвольное расселение эспарцета по рекультивированной секции, с образованием местообитаний с достаточно плотным размещением растений.

Наблюдалось некоторое изреживание посевов травосмеси, особенно на участках, по которым передвигалась техника или осуществлялось перемещение труб, однако выпадение культурных растений замещалось появлением видов сорной растительности, которая свободно расселялась по рекультивированной секции. Засорённость посевов в среднем составляла 25 шт./м², чему способствовал занос семян с рекультивированной в 2011 г. соседней первой секции. Продолжилось зарастание участков, не покрытых рекультивационным слоем и имеющих минимальное

покрытие. Травостой на этих участках был изреженным и находился в угнетённом состоянии. К концу вегетационного периода высота растений эспарцета в среднем составляла 85 см, а злаков – 90 см. Растения травосмеси сформировали мощную корневую систему, что позволило им расти и развиваться в условиях очень засушливого 2012 г. Глубина проникновения корневой системы эспарцета составляла 66 см, пырея и костреца – 72 см.

Таким образом, результаты проведённого в 2005–2012 гг. мониторинга рекультивированной второй секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС позволили отметить успешные рост и развитие растений высеянной многолетней травосмеси «эспарцет + пырей + кострец». За рассматриваемый период на рекультивированном золоотвале установлено существенное увеличение видового разнообразия растительности, поселение ранее отсутствовавших представителей животного мира. Наблюдалось частичное зарастание участков, не покрытых рекультивационным слоем и имеющих минимальное покрытие.

Растительный покров оказал существенное влияние на состояние рекультивационного слоя золоотвала. После проведения фитомелиорации на рассматриваемой территории установлена тенденция к увеличению содержания органического вещества в рекультивационном слое. Полученные результаты позволяют сделать заключение о протекающих положительных процессах, способствующих накоплению органического вещества в рекультивационном слое золоотвала в виде биомассы и корневой системы растений травосмеси, что может быть достигнуто лишь с помощью культур-фитомелиорантов. Установлено снижение значений рН в горизонтах 0–20 см и 20–40 см рекультивационного слоя, что произошло в результате внесения комплексных минеральных удобрений. Установлено уменьшение содержания тяжёлых металлов в рекультивационном слое, что также является положительным фактором, достигнутым в результате выполненной на золоотвале фитомелиорации.

Биологическая рекультивация с использованием технологии фитомелиорации позволила полностью прекратить пыление золоотвала, что подтверждают данные мониторинга, ежегодно проводимого МУП «Прогресс» (рис. 7.20). Они свидетельствуют об успешности биологической рекультивации, проведенной на второй секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС.

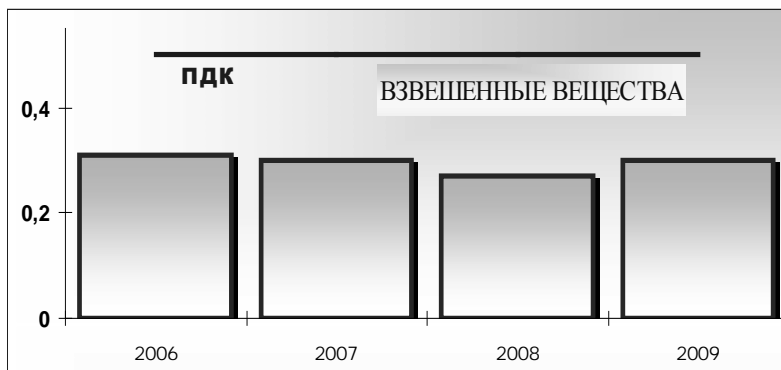


Рис. 7.20. Результаты мониторинга воздействия на атмосферу г. Новочеркасска, мг/м³ (по данным МУП «Прогресс»)

Литература

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеоздат, 1984. – 560 с.
2. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1975. – № 3. – С. 13–25.
3. Скуратов Н.С., Гурина И.В. Природопользование: 100 экзаменационных ответов. – М.; Ростов н/Д: ИКЦ «МарТ»; Изд. центр «МарТ», 2005. – 224 с.
4. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А.К. Махнев [и др.]. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 356 с.
5. Николаевский В.С. Биомониторинг, его значение и роль в системе экологического мониторинга и охране окружающей среды // Методологические и философские проблемы биологии. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 341–354.
6. Теоретические предпосылки популяционного мониторинга фито-рекультивации техногенных земель / А.З. Глухов [и др.] // Экология та ноосферология. – 2010. – Т. 21. – № 3–4. – С. 50–56.
7. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Мониторинг и оценка состояния лесных экосистем // Journal of Siberian Federal University. – Biology 4. – 2008. – Рр. 390–399.
8. Оценка состояния и устойчивости экосистем. – М.: Наука, 1992. – 127 с.
9. Чибрик Т.С., Елькин Ю.А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация). – Свердловск: УрГУ, 1991. – 220 с.

10. Иванова Н.А., Гурина И.В., Щиренко А.И. Мониторинг биологической рекультивации второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС // Эффективность мелиораций на юге России: материалы науч.-практ. конф. (Новочеркасск, 23–24 сент. 2009 г.). – Вып. 7. – Новочеркасск: Лик, 2009. – С. 174–176.

11. Гурина И.В., Щиренко А.И., Гнеуш А.А. Мониторинг состояния растительности на второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ»; под ред. В.Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2009. – Вып. 42. – С. 195–198.

12. Гурина И.В. Влияние фитомелиорации на агрохимические свойства рекультивационного слоя второй отработанной секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС // Труды Кубан. гос. аграр. ун-та. – 2009. – № 6 (21). – С. 241–243.

13. Гурина И.В. Результаты мониторинга биологической рекультивации второй секции золоотвала Новочеркасской ГРЭС // Экология: проблемы и перспективы социально-экологической реабилитации территорий и устойчивого развития: труды Третьей Всерос. науч.-практ. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – С. 43–45.

14. Гурина И.В., Иванова Н.А., Михеев П.А. Система показателей мониторинга рекультивированных золоотвалов (на примере Новочеркасской ГРЭС) // Научная мысль Кавказа. – 2012. – № 3. – С. 50–56.

Глава 8. ВОЗМОЖНОСТИ И РИСК ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

8.1. Осадки сточных вод в Польше и их особенности

Увеличение употребления воды в домашних хозяйствах, промышленности, а также ужесточение юридических требований в сфере защиты окружающей среды ведут к необходимости оптимизации процессов очищения сточных вод. Развитие высокоэффективных методов очистки бытовых сточных вод приводит к образованию отходов в виде осадка. Согласно ст. 3 абз. 3 п. 2 Закона об отходах от 14 декабря 2012 г. (Вестник законов 2013 г. п. 21) под бытовыми сточными отходами подразумевается *«...осадок, образующийся в бродильных камерах очистных сооружений и в других установках, предназначенных для очистки бытовых и других сточных вод, состав которых приближен к составу бытовых сточных вод...»*.

После вступления Польши в состав ЕС усилился интерес к теме сточных вод и осадка. В настоящее время очистка сточных вод и обращение с осадками сточных вод (ОСВ) представляет собой ключевой элемент экологической политики государства. В связи с этим были разработаны и воплощены в жизнь новые юридические нормы, ужесточающие действовавшие до сих пор правила, регламентирующие качество сточных вод и ОСВ. По данным Главного статистического управления (ГСУ), в 2011 г. количество осадков бытовых сточных вод, произведенных в Польше, составляло 519,2 тыс. Мг с.м. Прогноз Государственной программы, касающейся обращения с отходами (ГПОО), предполагает, что в 2015 г. количество сухой массы бытовых сточных осадков достигнет уровня 642,4 тыс. Мг с.м. и в последующие годы будет иметь тенденцию к росту, а это требует непрерывного развития технологий, связанных с утилизацией осадков. На настоящий момент еще нет разработанной техники очистки бытовых сточных вод, в которой не появлялся бы осадок (ГСУ, 2012; Хайнрих, 2010).

В 2012 г. в Польше функционировала 3191 станция по очистке бытовых сточных вод, большинство которых биологические (табл. 8.1). В 2005–2012 гг. их количество удерживалось на подобном уровне с тенденцией к росту. В то же время наблюдается сокращение количества механических очистных сооружений.

Очистные сооружения в Польше

Разновидность	Годы							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Механические	86	70	66	60	63	59	55	55
Биологические	2125	2175	2210	2233	2277	2263	2261	2316
С повышенным удалением биогенных элементов	720	754	765	797	813	814	827	820
Сумма	2931	2999	3041	3090	3153	3136	3143	3191

Источник: данные ГСУ (stat.gov.pl...)

Механико-биологические очистные станции характеризуются высоким уровнем производства осадков сточных вод. Это связано с тем, что участвующие в процессе очистки микроорганизмы имеют тенденцию накапливать различные виды нечистот, находящихся в сточных водах. Их избыток должен выводиться из очистных сооружений как чрезмерный осадок. Вместе с первичным осадком он создает осадок, который должен обязательно перерабатываться в целях обезвреживания. Благодаря современным технологиям, применяемым в очистке городских сточных вод, наблюдается улучшение их качества в очищенном виде. Приведенные в таблице 8.2 данные показывают, что все показатели, характеризующие параметры очищенных сточных вод, а именно БПК₅, ХПК, общая взвесь, общий азот и общий фосфор, в последующие годы имели тенденцию к снижению.

Таблица 8.2

Показатели загрязнений сточных вод после очистки

Параметры (Мг/год)	Годы							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
БПК ₅	26956,1	23987,1	16838,2	13254,4	11592,0	12232,7	10274,5	10021,4
ХПК	99257,1	95977,4	84499,2	74412,2	72128,1	78459,2	70370,7	68047,1
Общая взвесь	35543,5	30804,1	25152,6	18596,0	18059,8	18710,9	15748,2	14706,4
Общий азот	27896,2	27652,0	24037,7	21267,5	21073,0	22200,6	18101,9	17194,9
Общий фосфор	2648,8	2385,3	2154,5	1678,3	1234,2	1179,4	1121,1	1096,0

Источник: собственные разработки, данные ГСУ (stat.gov.pl...)

Осадок образуется на разных этапах процесса очистки сточных вод. Его можно разделить на 6 групп, а именно: первичный, вторичный, активный, чрезмерный, смешанный и химический осадок. Первичный осадок появляется в первом отстойнике, где происходит процесс седиментации, вторичный – возникает во втором отстойнике в результате процессов биологической очистки сточных вод. Далее эти осадки могут быть опять направлены в систему очистки сточных вод в качестве рециркулированного осадка либо удалены и подвергнуты следующей обработке как чрезмерный осадок. Но чаще всего они перемешиваются, в результате чего получается смесь осадков. В состав активного осадка входят различные типы микроорганизмов, аккумулирующих соединения, находящиеся в осадке, в то время как чрезмерный осадок является частью активного осадка, удаляемого из второго отстойника. Чрезмерный осадок состоит из клеток бактерий, применяемых для очистки сточных вод, которые в процессе очистки увеличивают свою массу и должны быть удалены. Химический осадок – это осадок, образуемый в ходе химических процессов, например, во время процесса коагуляции (Янош-Райчик, 2004).

В настоящее время большинство очистных станций используют многоуровневую систему очистки сточных вод, состоящую из предварительного механического, биологического или химического способов очистки. Рост числа отдельных процессов повышает эффективность очистки, но при этом ведет к увеличению количества произведенного осадка (Борушко, 2001).

Механико-биологические очистные станции характеризуются производством большого количества отходов, включающих в себя:

- отбросы с решетки – механические загрязнения крупных размеров, образующиеся во время фильтрации сточных вод через решетки с различными прозорами;

- пески и другие тяжелые вещества, удаляющиеся из сточной жидкости с помощью устройств, называемых песколовками. Эти отходы дополнительно промывают водой с целью снижения содержания органических веществ, которые порой достигают уровня более 20–30 %;

- жиры, плавающие на поверхности, отделяются в жирословителях;

– осадок из первичных отстойников, получающийся в процессе седиментации или флотации в первых отстойниках. Он содержит около 50% минеральных и органических загрязнений;

– осадок из вторых отстойников – осадок, получающийся в результате биологических процессов, выступает в виде биологической пленки или чрезмерного активного осадка. Самое большое количество этого осадка возникает в очистных сооружениях. Он содержит примерно 30 % минеральных веществ, остальное – это высоко гидратированные органические вещества (Борушко, 2001; Ковальски и др., 2004).

8.2. Свойства сточных осадков

Свойства и химический состав сточных осадков дифференцированы, зависят от вида очищаемых сточных вод, используемой технологии в процессе очистки и способа их переработки. На качество появляющихся сточных осадков значительное влияние может иметь попадание промышленных сточных вод в коммунальные бытовые очистные сооружения (Кшивы и др., 2008).

Побочные продукты очистки сточных вод характеризуются высоким уровнем гидратации, колеблющимся в пределах от 95 до 99 % (свыше 99 % в сыром осадке, 55–80 % в обезвоженном менее 10 % после термической сушки), а также высоким содержанием неорганической и органической материи. По данным Чекала (1999), содержание органической материи в среднем составляет $542 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ с.м. осадка. Органическая и неорганическая материя отвечает за связывание тяжелых металлов в осадке. В состав органической материи входят мертвые органические вещества (detritus) и живые организмы (Рао и др., 2008). В состав неорганической материи входят некристаллический гидроксид железа, алюминия и марганца, сульфиды, карбонаты и фосфаты (Меррингтон и др., 2003). Содержание органического вещества в значительной степени определяет способ использования сточного осадка (Малей, 2000; Чекала, 2002, 2009).

Сточные осадки также содержат большое количество соединений азота и фосфора, причем отмечается значительная неоднородность содержания фосфора вследствие применения с непостоянной интенсивностью различных минеральных коагулянтов для удаления P из сточных вод. Они, как правило, с низким

содержанием калия (Кшивы и др., 2008). Многие авторы обращают внимание на высокую вариабельность содержания макрокомпонентов в сточных осадках, производимых в коммунальных очистных сооружениях (Мацьковяк, 2000). В среднем в ОСВ содержится: 3,53 % N, 3,01 % P₂O₅, 0,31 % K₂O, 3,31м% CaO, 0,72 % MgO. Другие исследования (Яцковска, Олексеюк, 2004) показывают, что сточные осадки содержат в среднем: 5,85 % N, 2,53 % P, 0,38 % K, 2,13 % Ca, 0,43 % Mg и 68 % органических субстанций.

В исследованиях Цецько и др. (2001 b) бытовые осадки сточных вод имели высокое содержание макрокомпонентов, в частности большое количество азота и фосфора. В среднем в свежей массе осадка уровень фосфора в 5,8 раза, азота в 2,3 раза, а магния – в 2,4 раза выше, чем в навозе, но при этом немного ниже уровень калия. Однако следует заметить, что содержание макроэлементов в осадке имеет прямую зависимость от времени складирования. Содержание азота было самым низким в «самом молодом» осадке, между тем как после более долгого складирования были отмечены рост и стабилизация содержания этого элемента. Относительно фосфора, калия и магния наблюдается параболическая зависимость, самое большое количество этих элементов отмечено в ОСВ со средним периодом складирования.

Азот в осадках сточных вод выступает чаще всего в виде легко усваиваемых соединений, которыми главным образом являются соединения аммония. Они составляют около 50 % общего содержания данного элемента. Остальная часть азота находится в органических соединениях (Чекала, 1999). Фосфор попадает в ОСВ в результате процессов биологической дефосфотации, а также путем химического осаждения данного элемента в очистных сооружениях. Накопительное содержание фосфора в осадках бытовых сточных вод составляет от 1 до 2,5 % s.m. (Безак-Мазур, Мазур, 2005).

Осадки бытовых сточных вод содержат не только органическое вещество и ценные питательные компоненты для растений, но и вредные соединения. Большое внимание уделяется содержанию в осадке тяжелых металлов, поскольку именно они в большей степени оказывают негативное воздействие на окружающую среду (Кухарски и др., 2000) (рис. 8.1). Источником содержания тяжелых металлов в ОСВ являются промышленные и

поверхностные сточные воды. 80–90 % тяжелых металлов сточных вод попадает в сточный осадок. Содержание этих элементов изменяется в зависимости от источника происхождения (Бернацка, Павловска, 2000; Бовшис и др., 2007; Раймунд, Божим, 2013). Кроме общего содержания тяжелых металлов отмечается также их биодоступность. Биодоступными формами металлов являются взаимозаменяемые металлы, находящиеся в водном растворе, связывающиеся с карбонатами, фосфатами и сульфатами. Металлы, связанные с оксидами Fe, Mn и Al, органической фракцией и сульфидами, могут быть биодоступны при определенных условиях реакции, электропроводности, содержания органической материи и окислительно-восстановительных свойств, а также свойств самих металлов (Вильк, Гворек, 2009).

Совершенно иной химический состав по сравнению с составом осадков бытовых сточных вод, производимых в городских очистных сооружениях, имеют осадки, полученные из сточных вод пищевой промышленности. Их свойства зависят от вида промышленности и технологий производства. В этих осадках чаще всего преобладают питательные вещества для растений, подобно составу осадков хозяйственно-бытовых сточных вод. В исследовании Цецько и др. (2001а) осадок сточных вод молочной промышленности г. Мронгово имел нейтральную реакцию, высокое содержание кальция и магния и низкий уровень азота и фосфора. В то время как осадок сточных вод молочной промышленности г. Пёнтница отличался слишком высоким уровнем гидратации, слегка кислым рН, высоким содержанием азота и фосфора, а также низким содержанием калия и магния.

Кроме того, он также являлся обильным источником микроэлементов, причем содержание тяжелых металлов было значительно ниже допустимого уровня. Такой осадок не представляет угрозы для почвы и может быть применен в натуральных целях. Осадки сточных вод молочной промышленности, используемые в качестве органических удобрений, должны периодически поддаваться контролю, поскольку их химический состав может значительно изменяться.

В осадках бытовых сточных вод содержится большое количество веществ опасных для человека и окружающей среды, а также болезнетворных микроорганизмов, вирусов и грибов (Quan-Ying и др., 2007; Чекала, 2009; Дах, 2009). Обзор литерату-

ры, касающейся токсических соединений в ОСВ показал, что осадки содержат 516 органических компонентов, которые были поделены на 15 групп. Среди этих групп выделяют пестициды, полициклические ароматические углеводороды, полихлорированные дифенилы и нитрозамины (Гаррисон и др. 2006, Олещук 2006, 2007).

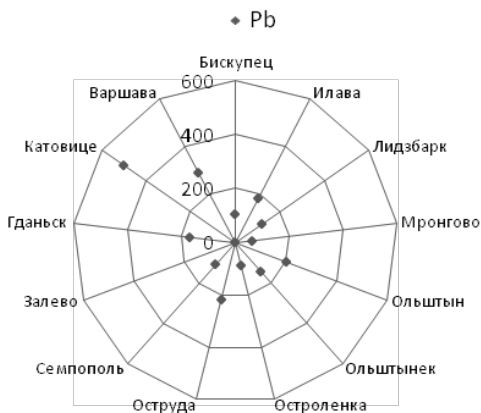




Рис. 8.1. Содержание тяжелых металлов в осадках коммунальных сточных вод, в $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ с.в. (Кухарски и др. 2000)

Наиболее значительными органическими загрязнениями, присутствующими в осадке сточных вод, считаются хлорофенолы, полихлорированные дифенилы (ПХД), ДИ (2-этилгексил / фталат) (ДЭГФ), хлорированные алифатические и ароматические углеводороды, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД) и дибен-

зофураны (ПХДФ), адсорбированные органические соединения хлора (АОХ), пестициды, 2,2'-бис (п-гидроксифенил)-пропан (БПА), нитрозамины, нонилфенол (НФ), гормоны, ветеринарные лекарства и много других веществ, находящихся в низких концентрациях (Бернацка, Павловска 2000; Гаррисон и др., 2006; Олещук, 2007). Самыми опасными из них считаются диоксины и остатки средств, предназначенных для защиты растений из группы хлорированных углеводородов (Гаррисон и др., 2006). Содержание полихлорированных дифенилов, полициклических ароматических углеводородов, пестицидов из группы хлорированных углеводородов и тяжелых металлов в осадках бытовых сточных вод крупных городов выше, чем в малых местностях (Кухарски и др., 2000) (рис. 8.2).

Среди наиболее известных загрязнений упоминаются полициклические ароматические углеводороды. Их содержание варьирует и зависит прежде всего от вида сточных вод, поверхности стока и типа канализации, а также количества и вида промышленных сточных вод, попадающих в очистные сооружения, используемых процессов очистки и переработки осадков (Бодзек и др., 1997; Олещук, 2006). Полициклические ароматические углеводороды, содержащиеся в осадках, могут попадать внутрь живых организмов, обитающих в осадках (бактерий, грибов, простейших, беспозвоночных), которые подвергаются там разным метаболическим процессам (Олещук, 2007).

Существенным фактором, влияющим на уровень загрязнения осадков сточных вод, является регион, в котором они производятся. На промышленных территориях отмечается значительное повышение содержания ПАУ в осадке по сравнению сельскохозяйственными и туристическими местностями. Что касается тяжелых металлов, их содержание в осадках сточных вод может быть во много раз выше (Pb, Cd, Cr, Cu, Fe, Zn, Ni, Mn и Co) (Бодзек, Яношка 1999).

Осадки сточных вод создают санитарную угрозу, поскольку большая часть нечистот, попадающая в очистные сооружения, связана с процессами метаболизма человека (максимальную в случае сырых осадков, и минимальную при стабилизированных и гигиенизированных осадках). Именно поэтому осадки бытовых сточных вод должны обезвреживаться или применяться таким способом, чтобы не создавать угрозы для окружающей среды (Чекала, 2009).





Условные обозначения

- ПХД (PCBs) – полихлорированные дифенилы,
- ПАУ (PAHs) – полициклические ароматические углеводороды,
- пестициды – пестициды из группы хлорированных углеводородов.

Рис. 8.2. Содержание органических субстанций в коммунальных осадках сточных вод, в мг · кг⁻¹ с.в. (Кухарски и др. 2000)

Основные патогены, которые могут находиться в осадке сточных вод, это *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Mycobacterium tuberculosis*, энтеровирусы (поливирус) и яйца нематод, ленточных червей, сосальщиков и простейших.

8.3. Процессы, применяемые для переработки осадков сточных вод

Увеличение количества производимых осадков сточных вод и связанное с этим рациональное их использование стало очень важной и трудной проблемой (Ядчишин, Стахыра, 2005). Необходимость обезвреживания ОСВ вытекает не только из юридических требований, но и практических и эстетических норм. Накапливаемые в очистных сооружениях осадки требуют соответствующей переработки, проводимой с помощью биологиче-

ских, химических и термических процессов (рис. 8.3). Благодаря совершенствованию этих действий удастся повысить производительность и эффективность очистки сточных вод. В результате используемых процессов происходит изменение физико-химических и биологических свойств осадков.

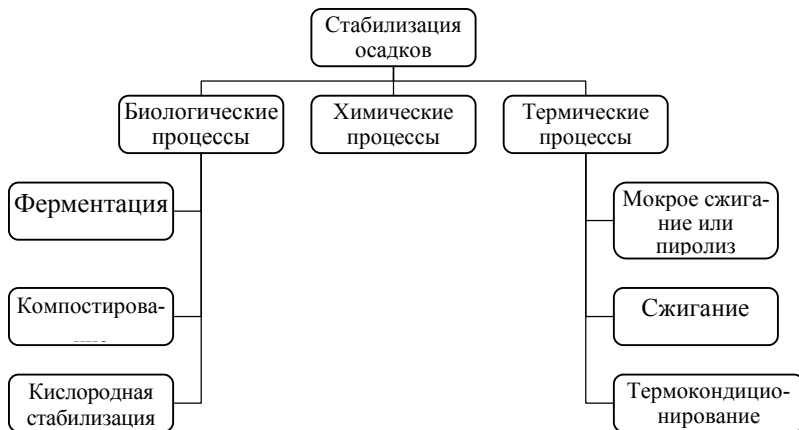


Рис. 8.3. Методы переработки и применения осадков сточных вод (разработано по Бень и др., 2011)

Основными процессами переработки осадков являются уплотнение, стабилизация, обезвоживание или уплотнение, сушка и сжигание. Цель переработки осадка – уменьшение его объема, стабилизации с помощью снижения в нем содержания органических соединений, гигиенизации осадка и подготовки к окончательному использованию или обезвреживанию (Бень и др., 2011).

Одним из процессов, используемых для переработки осадка сточных вод, является кондиционирование. Задача данного процесса состоит в том, чтобы подготовить осадок к последующим процессам. Кондиционированный осадок характеризуется увеличенным объемом частиц и умеренной силой связывания частиц осадка с водой. Существуют разные способы кондиционирования осадков сточных вод:

- термический – путем использования высоких температур от 150 до 200 °С;
- химический – путем добавления полимеров, солей железа или алюминия;

- физический – применение ультразвука;
- другие техники – вымораживание, промывка, добавление пепла, углеродной пыли, цементной пыли или талька.

Второй процесс, применяемый при переработке осадка, – уплотнение. По мнению Борушко (2001), этот процесс следует использовать во всех очистных сооружениях, поскольку он увеличивает эффективность последующих процессов переработки, а также в значительной степени сокращает объем осадка. Первичный осадок уплотняется в процессе гравитационной седиментации, то есть свободного оседания частиц осадка на дно емкости. Чрезмерный осадок уплотняется с помощью флотации или механическим способом.

Очередной процесс, улучшающий качество осадка, – обезвоживание. Этот процесс заключается в удалении воды из осадка и уменьшении его объема и массы. Удаление свободной воды происходит и во время процесса уплотнения в специальных устройствах или в наплывных водосборниках. Осадок содержит капиллярную воду, которая удаляется механически с помощью применения различных техник, таких как использование центробежной силы в устройствах, называемых центрифугами, фильтрации с использованием фильтрационного пресса, ленточного пресса, вакуумных фильтров и винтового пресса, а также с помощью применения термических процессов. Кондиционированные осадки легче поддаются обезвоживанию, поскольку хуже вяжутся с водой (Борушко, 2001).

Процесс стабилизации осадка используется с целью значительно сократить содержание органических веществ, которые подвержены процессу гниения, и болезнетворных организмов. Стабилизированные осадки сточных вод также характеризуются низкой степенью неприятного запаха, упрощением процессов седиментации и обезвоживания. Стабилизацию осадка можно разделить на три процесса: химический (известкование), биологический (брожение, компостирование, кислородная и бескислородная стабилизация) и термический (сжигание мокрым и сухим способами, пиролиз, термокондиционирование). Стабилизация осадков сточных вод – достаточно дорогое предприятие, но это необходимый подготовительный процесс осадка к дальнейшей переработке (Кулиговска-Рошак, 2010).

Биологическая стабилизация более популярна на малых очистных станциях. В ходе этого метода применяется процесс ферментации. Брожение может осуществляться при разных температурах:

- от 8 до 15 °С (психофильное брожение);
- от 27 до 38 °С (мезофильное брожение);
- от 45 до 58 °С (термофильное брожение).

Ферментация – это процесс, происходящий при участии микроорганизмов, поэтому должны быть обеспечены соответствующие условия, необходимые для их жизнедеятельности и размножения. Микроорганизмы, участвующие в данном процессе, чувствительны к колебаниям температуры, поэтому процесс должен проходить под непрерывным контролем (Бояновска, 2010).

Анаэробная ферментация – биологический процесс, в результате которого органические вещества (такие как белки, углеводы и жиры) без наличия кислорода производят газ, а органические вещества поддаются минерализации. Возникающий газ – это смесь метана и диоксида углерода. Стабилизация осадков, осуществляемая таким способом, наиболее популярна на биологических очистных станциях, где этот процесс проходит в специальных камерах. Кислородная ферментация заключается в стабилизации сырого осадка. Она основана на окислении органических веществ при наличии аэробных бактерий. Этот процесс более энергоемкий, чем анаэробная стабилизация, и надо следить за тем, чтобы сохранялся постоянный уровень кислорода. Стабилизация осуществляется в открытых или закрытых камерах с подключением кислорода или во время очистки сточных вод в камере активного осадка в режиме продолжительной аэрации (Борушко, 2001; Бояновска, 2010).

После процесса ферментации или без него осадок стабилизируется с помощью компостирования. Это процесс контролируемого разложения органических веществ, осуществляемый в соответствующих аэробных, влажных температурных условиях. Осадок перед компостированием должен быть обезвожен, затем смешан с опилками, соломой или специальной сельскохозяйственной массой. Это продолжительный процесс, но благодаря этому полученный компост отличается хорошим качеством и

может быть использован различными способами. Чаще всего компостирование осуществляется в призматической системе, благодаря которой примерно после 6 месяцев получается готовый продукт (Личнар и др., 1999; Банегас и др., 2007; Кулиговска-Рошак, 2010).

Стабилизации осадка можно достичь, используя термический процесс, путем сжигания осадков сухим и влажным способами. Осадок, предназначенный для сухого сжигания, следует подвергнуть обезвоживанию, лучше всего, если он будет содержать 30 % сухой массы. Это выгодный процесс с точки зрения производства значительных запасов энергии, примерно 8000 кДж/кг сухой массы. Сжигание влажным способом является дорогостоящим процессом и не очень рентабельным, поскольку необходим дополнительный источник энергии (Бояновска, 2010).

Термическим процессом, применяемым в переработке осадков сточных вод, является термокондиционирование. Процесс заключается в подогреве осадка при температуре от 120 до 150 °С под давлением. Благодаря термокондиционированию присутствующий в осадке белок поддается денатурации и изменяет свою структуру, что облегчает обезвоживание, а также дезинфицирует свежий осадок (Верле и Вильк, 2009).

Во время процесса пиролиза под воздействием температуры (300–900 °С) происходит разложение различных соединений, содержащихся в ОСВ. Данный процесс проходит в анаэробных условиях подобно процессу газификации. Благодаря высокой температуре образуются газы и остатки осадка в твердом и жидком виде. Поскольку термические процессы достаточно дорогостоящие, они применяются только в крупных очистных сооружениях. На небольших очистных станциях этот процесс нерентабелен, из-за высоких затрат, связанных с нагреванием осадка (Верле и Вильк, 2009; Бояновска, 2010; Бень и др., 2011).

Химические процессы заключаются в смешении осадков с негашеной или гашеной известью. В результате данного процесса осадок изменяет свои химические, физические и биологические свойства. Этот метод особенно полезен для использования осадка в качестве удобрения почвы.

8.4. Технологии переработки, восстановления и обезвреживания ОСВ

Увеличение объема генерируемых ОСВ, наблюдаемое на протяжении последних лет, а также запрет на их складирование, вступивший в действие после 1 января 2013 г., привело к тому, что обращение с осадками сточных вод стало очень важным экологическим, техническим и экономическим вопросом. Надлежащее использование и обеззараживание осадков, получающихся в результате механического и биологического процессов на очистных сооружениях, должно базироваться на безопасном способе выброса стабилизированных осадков в окружающую среду и использовании их высокого энергетического потенциала (Демидович и пр., 2006; Сондей, 2009).

Существует достаточное количество техник переработки ОСВ, среди которых выделяются: натуральное использование, складирование и термическая обработка. Натуральное использование осадков – наиболее хорошее решение, поскольку все полезные вещества, содержащиеся в таких осадках, возвращаются в естественный цикл окружающей среды. Единственная проблема – соблюдение норм, связанных с содержанием загрязнений в осадке. Чтобы осадки сточных вод могли быть использованы натуральным образом, они должны отвечать требованиям относительно содержания тяжелых металлов либо подвержены процессам переработки, улучшающим их свойства. К таким процессам относится компостирование ОСВ, благодаря чему качество переработанных осадков улучшается. Таким способом переработанные осадки могут использоваться в качестве удобрения почвы. Они также могут быть складированы, однако в последнее время такая форма утилизации запрещена.

Следующим направлением обезвреживания осадков является тепловая обработка, признанная самым лучшим способом утилизации загрязнений, присутствующих в осадках сточных вод. Специалисты стремятся развивать именно этот вид технологии, потому что согласно Государственному плану по обращению с отходами (2010) в следующих годах термическая обработка осадка будет доминирующим способом утилизации (Речко, 2005; Карч и др., 2007; Хеинрих, 2010; Бень и др., 2011).

До 2013 г. в Польше применялись три главных метода обезвреживания и использования осадков сточных вод. К ним относились: натуральное использование, складирование и энергетическое обезвреживание в процессах термического сжигания (после смешивания с высокоэнергетическими бытовыми отходами). Но в последнее время наблюдаются существенные изменения и в количестве производимых осадков, и в способах обращения с ними. В 2012 г. произведено в сумме 951,9 тыс. Мг с.м. промышленных и коммунальных осадков сточных вод, а их количество по сравнению с 2005 г. снизилось на 18,1 %. Отмечаются также изменения в направлениях утилизации осадков. В течение анализируемого периода количество складированных осадков снизилось с 35,5 до 17,6 %. Подобная тенденция сохранилась в отношении осадков, используемых для рекультивации территорий, в том числе грунтов, предназначенных на сельскохозяйственные нужды (от 28,9 % в 2005 г. до 15,2 % в 2012 г.). Почти на 30 % уменьшилось количество осадков сточных вод, накопленное на территориях очистных сооружений, хотя заметно увеличилось количество осадков, предназначенных для производства компоста в растениеводстве (от 2,6 до 3,9 %). В два раза выросло количество осадков, применяемых в сельском хозяйстве, и в три раза большее количество прошло термическую обработку (ГСУ 2013).

В анализируемом временном пространстве наблюдается значительное увеличение количества осадков сточных вод городских очистных станций (с 486,1 тыс. Мг с.м. в 2005 г. до 533,3 тыс. Мг с.м. в 2012 г. (табл. 8.3)). Отмечен значительный рост количество осадков, переработанных термически (в 2012 г. почти в 9 раз больше, чем в 2005 г.), увеличилось также количество осадка, используемого в сельском хозяйстве (в 1,7 раза). Значительно меньше осадка использовано для нужд к рекультивации грунтов и предназначено для складирования (ГСУ 2013).

Сельскохозяйственное направление использования осадков сточных вод интенсивно развивалось до 2009 г. и в последующие годы удерживалось на подобном уровне (рис. 8.4). Другая тенденция проявилась в сфере использования осадков в рекультивационных целях (рис. 8.5). В 2005 г. зафиксировано максимальное количество осадков, задействованных в этом направлении, около 25 % всей массы произведенных осадков. В последующие годы

наблюдалось снижение использования осадков в целях рекультивации до уровня ниже 10 %.

Таблица 8.3

Направления изменения объемов осадков сточных вод и способы их применения в 2005-2012 годы

Виды осадков (Mg)	Годы							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общая сумма осадков	486142	501342	533370	567315	563115	526723	519190	533338
Используемые в с/х	65976	80578	98162	111987	123092	109325	116241	115024
Для рекультивации территорий, в том с/х	120554	109746	118533	105800	77834	54279	54386	50280
Применяемые для выращивания растений, предназначенных для производства компоста	27382	28087	25464	27492	23516	30940	30998	33335
После термической обработки	6249	4472	1686	5999	8854	19818	41629	56644
Сумма складированных	150698	147060	124536	91612	81622	58917	51447	46796
Складированные временно	27291	38618	49440	52880	72894	68228	53103	52684

Источник: данные ГСУ (stat.gov.pl...)

Относительно стабильная тенденция наблюдается в случае применения осадков в области растениеводства для производства компоста (рис. 8.6). В анализируемом временном периоде такое использование осадка колеблется с 4,2 % (2009 г.) до 6,3 % (2012 г.).

Интересная тенденция замечена в случае термической обработки осадков сточных вод (рис. 8.7). С 2010 г. возросло количество осадков, поданных переработке с помощью термических процессов. За 2010–2012 гг. почти в три раза увеличилось использование данного метода утилизации, что стало следствием

роста числа сооружений, предназначенных для термической обработки осадков. Это, безусловно, положительное явление, поскольку появляется возможность получать энергию из осадков, что отвечает требованиям Евросоюза, относительно увеличения доли обновляемых источников энергии.

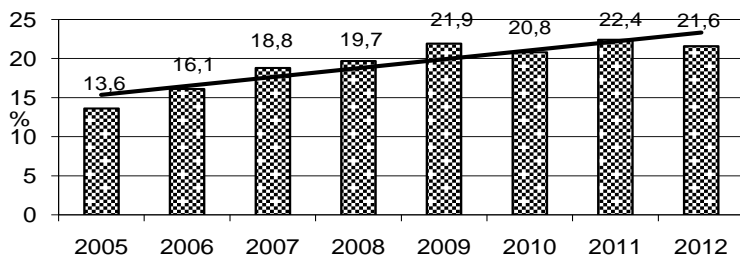


Рис. 8.4. Процент использования осадков сточных вод в сельском хозяйстве относительно общей массы полученного осадка, % (данные ГСУ: stat.gov.pl...)

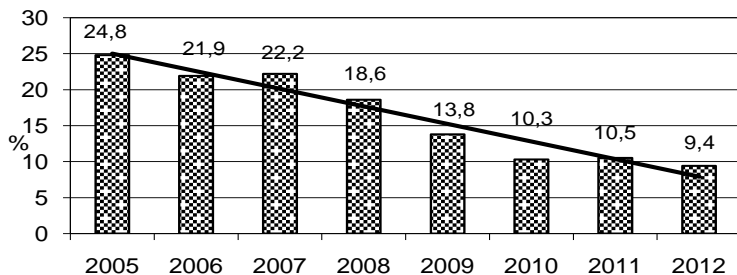


Рис. 8.5. Процент использования осадков сточных вод в рекультивационных целях относительно общей массы полученного осадка, % (данные ГСУ: stat.gov.pl...)

Полученные данные показывают, что уменьшается процент складированных осадков относительно общей массы осадка, что является следствием увеличения количества использования осадков другими методами (рис. 8.8).

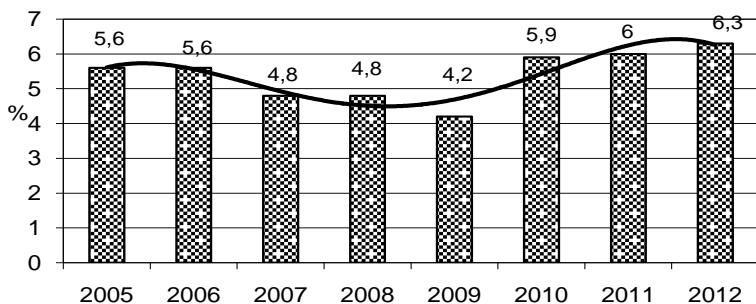


Рис. 8.6. Процент использования осадков сточных вод в растениеводстве для производства компоста относительно общей массы полученного осадка, % (данные ГСУ: stat.gov.pl...)

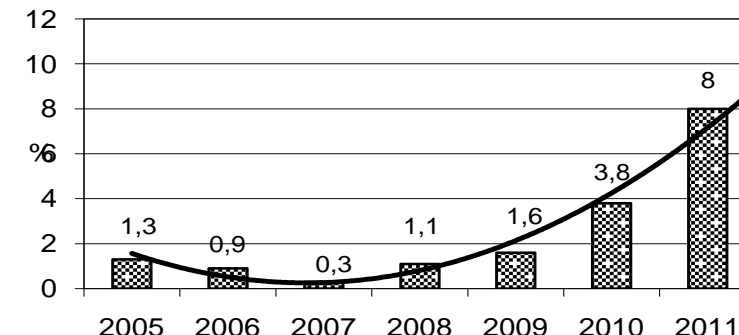


Рис. 8.7. Процент осадков сточных вод, поданных термической обработке, относительно общей массы полученного осадка, % (данные ГСУ: stat.gov.pl...)

С 2005 по 2012 год часть складированного осадка уменьшилась в 1,5 раза. Количество временно складированного осадка в 2009–2010 гг. было максимальным, но в последующие годы прослеживается тенденция к уменьшению (рис. 8.9).

Увеличение объема осадка коммунальных сточных вод, наблюдаемое за последние годы, является прежде всего результа-

том модернизации существующих очистных сооружений, расширения канализационных сетей (рост населения городских и сельских местностей, обслуживаемых очистными станциями), а также строительства новых очистных сооружений (Бень и др., 2011). Согласно Плану обращения с отходами (2014) в 2020 г. ожидается получить 746,0 тыс. Мг с.м. осадков бытовых сточных вод, хотя эти показатели могут быть слегка завышены, так как по прогнозу в 2011 г. должно было появиться 621,0 тыс. Мг с.м., а в действительности было 519,2 тыс. Мг с.м. (ГСУ 2013).

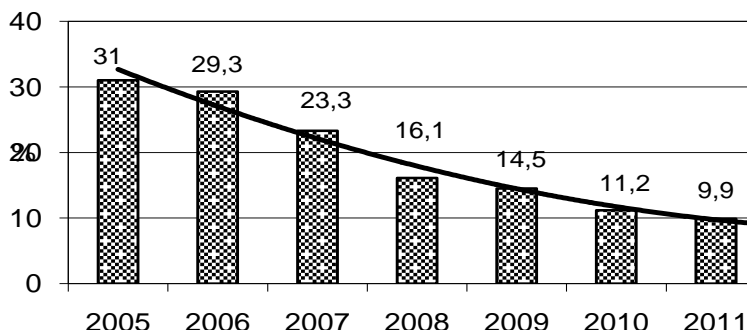


Рис. 8.8. Процент складываемых осадков сточных вод относительно общей массы полученного осадка, в %, (данные ГСУ: stat.gov.pl...)

Количество произведенного осадка промышленных сточных вод в исследуемом периоде поддавалось снижению, подобно количеству осадка кумулированного на территории предприятий (табл. 8.4). В 2012 г. количество полученного осадка в 2005 году составляло 65,6% осадков. Большая часть этого осадка была складирована. Вторым, наиболее распространенным направлением использования промышленных осадков, было применение его с целью рекультивации территорий.

Участие в данном методе утилизации уменьшалось с 32 % в 2005 г. до 22,5 % в 2012 г. В 2010–2011 гг. часть осадков промышленных сточных вод, утилизированная термическим путем, была самой высокой и составляла 12–12,6 %. В случае сельскохозяйственного использования осадков промышленных сточных вод участие этого метода в последующих годах возросло почти на 2 % в 2005–2012 гг. (табл. 8.5).

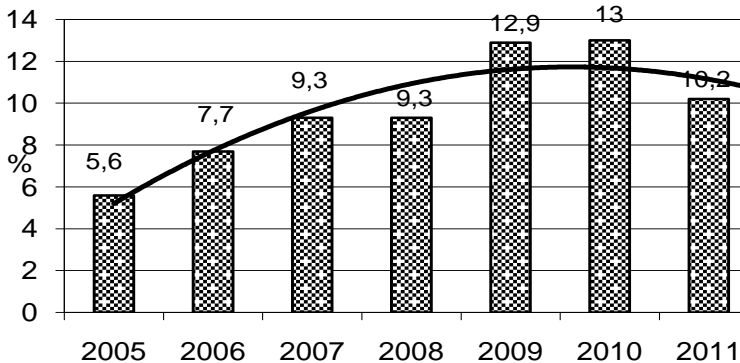


Рис. 8.9. Процент временно складировуемых осадков сточных вод, относительно общей массы полученного осадка, в %, (данные ГСУ: stat.gov.pl...)

Таблица 8.4

Направления изменения объемов осадков промышленных сточных вод и способы их применения

Виды осадков (Mg)	Годы							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Общая сумма осадков	638212	563377	555448	411572	344971	368382	397635	418581
Используемые в с/х	32263	26268	36174	39737	43034	27547	29199	29216
Для рекультивации территорий, в том числе с/х	204390	177457	216748	126874	86873	96166	97840	93997
Применяемые для выращивания растений, предназначенных для производства компоста	2210	2901	4082	602	480	362	364	3870
После термической обработки	31104	34852	31991	38547	41513	46576	43592	44471
Сумма складированных	248434	234221	172619	117100	99774	106960	108684	121047
Складированные временно	37580	14456	15949	20259	25231	30727	26859	30338

Источник: данные ГСУ (stat.gov.pl...)

Таблица 8.5

**Процент отдельных методов использования осадков
промышленных сточных вод, %**

Виды осадков	Годы							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Используемые в с/х	5,1	4,7	6,5	9,7	12,5	7,5	7,3	7,0
Для рекультивации территорий, в том с/х	32,0	31,5	39,0	30,8	25,2	26,1	24,6	22,5
Применяемые для выращивания растений, предназначенных для производства компоста	0,3	0,5	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9
После термической обработки	4,9	6,2	5,8	9,4	12,0	12,6	11,0	10,6
Сумма складированных	38,9	41,6	31,1	28,5	28,9	29,0	27,3	28,9
Складированные временно	5,9	2,6	2,9	4,9	7,3	8,3	6,8	7,2

Источник: данные ГСУ (stat.gov.pl...)

Наблюдаются также изменения количества ОСВ, накопленных на территориях предприятий, а также степень их использования (табл. 8.6). На рубеже анализированных лет объем этих осадков уменьшился

Таблица 8.6

**Количество осадка, собранного на территориях предприятий
и использованные осадки**

Виды осадков	Годы							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Осадки, собранные на территориях предприятий (Мг)	8560063	7919629	7541837	6433921	6318757	6118086	6267176	6307653
Осадки, использованные из собранных до настоящего времени (Мг)	274440	451606	390689	842651	107999	235563	47443	3449
% использования осадков	3,21	5,70	5,18	13,10	1,71	3,85	0,76	0,05

Источник: данные ГСУ (stat.gov.pl...)

8.4.1. *Натуральное использование осадков сточных вод*

Натуральное использование осадков сточных вод в связи высоким содержанием в них органической материи и компонентов, присущих удобрениям, является наиболее рациональным способом их применения при условии соблюдения обязующих санитарно-гигиенических норм, касающихся токсических компонентов (Баран и др., 1996). Этот способ обезвреживания осадков сточных вод основывается на введении органической материи и других компонентов, присутствующих в переработанных осадках, в натуральный цикл. Он может быть реализован несколькими путями (рис. 8.10):

- использования осадка в сельскохозяйственных селях;
- использования осадка для рекультивации деградированных или опустошенных земель;
- производства компоста из осадка;
- применения для удобрения энергетических растений;
- создания торфа;
- разведения калифорнийских червей.

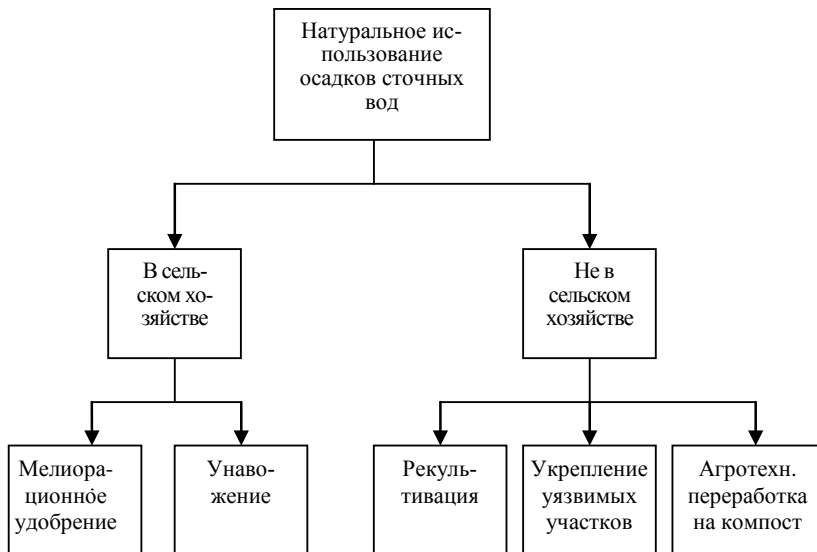


Рис. 8.10. Способы натурального использования осадков сточных вод

Для того чтобы осадки сточных вод могли быть использованы натурально, они должны пройти предварительную обработку, называемую кондиционированием (Миллюнец, 2005; Демидович и др., 2006; Чекала, 2009), и, кроме того, отвечать требованиям Постановления Министра окружающей среды от 13 июля 2010 г., касающимся наличия палочки *Salmonella*, живых яиц кишечных паразитов *Ascaris* sp., *Trichuris* sp. и *Toxocara* sp., а также содержания тяжелых металлов. Правила использования осадков сточных вод регламентирует Закон об отходах от 14 декабря 2012 г. (Вестник законов 2013 п. 21). Подробная информация представлена в ст. 96 Закона.

Допустимое количество тяжелых металлов в осадке и их использование представлено в таблице 8.7.

Таблица 8.7

Допустимое количество тяжелых металлов в осадках бытовых сточных вод

№ п/п	Металлы	Содержание тяжелых металлов мг/кг сухой массы осадка, не больше, чем:		
		При использовании осадков бытовых сточных вод:		
		В сельском хозяйстве и для рекультивации земель в с/х целях	Для рекультивации участков не в с/х целях	При адаптации грунтов для конкретных целей, вытекающих из планов обращения с отходами, планов зонирования и решений об условиях застройки, для выращивания растений, предназначенных для производства компоста, для сельскохозяйственных культур, не предназначенных для потребления и кормов животных
1	Кадмий (Cd)	20	25	50
2	Медь (Cu)	1000	1200	2000
3	Никель (Ni)	300	400	500
4	Свинец (Pb)	750	1000	1500
5	Цинк (Zn)	2500	3500	5000
6	Ртуть (Hg)	16	20	25

Источник: Постановление Министра окружающей среды от 13 июля 2010 г.

Размер дозировки осадка сточных вод устанавливается в зависимости от грунта, способа его использования, качества осадка и потребности растений в фосфоре и азоте. Допустимые дозы осадков устанавливаются таким образом, чтобы не превышался лимит содержания тяжелых металлов в верхнем слое грунта (эти требования содержатся в приложениях 2 и 3 к Постановлению).

Осадки сточных вод могут представлять угрозу для здоровья людей, животных и окружающей среды (клапец, холева 2012). Чаще всего ограничения, касающиеся их натурального использования, связаны чрезмерным содержанием микроэлементов, болезнетворных организмов и органических поллютантов промышленного происхождения, являющихся опасными, долговечными и имеющими тенденцию накапливаться в живых организмах. На основании требований правовых норм осадки сточных вод до выброса в почву должны быть очищены от болезнетворных организмов и контролированы относительно содержания в них тяжелых металлов. Однако нет требований, касающихся органических загрязнений.

8.4.1.1. Использование осадков в сельскохозяйственных целях

Актуальная тенденция, касающаяся использования осадков сточных вод в целях унавожения, не является новым решением, а возвращением к более ранней форме применения осадков (Иранзо и др., 2004; Якубус, 2006; Сулевска и Козяра, 2007). Использование осадков сточных вод в сельском хозяйстве для удобрения почв может принести экономические выгоды и пользу окружающей среде. Оптимальные дозы осадков оказывают влияние на улучшение свойств почвы. Чрезмерные дозы осадков сточных вод на сельскохозяйственных территориях могут вести к загрязнению, что особенно существенно там, где производят продукты питания (Ву и др., 2012). Именно поэтому, прежде чем осадок будет использован в сельском хозяйстве в качестве удобрения, он должен быть подвергнут тщательным анализам: химическому, физическому и санитарно-биологическому.

Осадки, подвергнутые механико-биологической обработке на очистных станциях, характеризуются высоким содержанием компонентов, улучшающих плодородие почвы. В них отмечается

достаточный уровень органической материи, оказывающей влияние на процессы гумусообразования и почвообразования. Они также представляют собой богатый источник пищевых компонентов, таких как N, P, K, Ca и Mg. Часто содержат больше азота, чем натуральное удобрение (навоз). Сельскохозяйственное использование осадков сточных вод требует постоянного контроля уровня содержания микро- и макрокомпонентов, поскольку колебания этого уровня могут привести к перенасыщению почвы и, как следствие, к загрязнению грунтовых вод биогенными веществами (Чекала, 2009; Сондей и др., 2009).

Осадки сточных вод часто рассматривают в качестве заменителя навоза. Дозировку определяет потребность растений в азоте или количество азота, содержащегося в одном Mg осадка. Азот – элемент, впитываемый растениями в таких количествах, которые доступны в почве без каких-либо ограничений. Это один из основных компонентов, регулирующих рост плодородия, но его избыток может привести к снижению урожайности. Согласно Закону об удобрении от 10 июля 2007 г. доза азота не может превышать 170 кг/га в год.

Осадки сточных вод содержат также большое количество фосфора и других макроэлементов, необходимых растениям, но к ним следует добавлять калий, так как уровень его составляет примерно 0,05–0,6 % сухой массы (Сюта, 2003; Окамото, 2004; Чекала, 2009).

В процессе удобрения осадками сточных вод важную роль играет распределение осадка на полях. Осадок может быть в жидком или сыпучем виде, существенно его равномерное распределение на данной поверхности. Лучше всего используются компостированные осадки с земистой структурой. Применяются известковые и безизвестковые осадки. Осадки после процесса известкования идеально подходят для удобрения кислых почв, в связи с щелочным pH, а безизвестковые осадки применяются для грунтов с pH, близким к нейтральному (Сюта, 2003; Сингх и Аграваль, 2008).

Применяя осадки сточных вод, следует учитывать их вредное влияние на окружающую среду из-за содержания в них тяжелых металлов и органических загрязнений, которые подвержены процессу биоаккумуляции, а также характеризуются про-

должительностью жизни. Второй проблемой, связанной с осадками, является их большой объем. Сточные воды производятся непрерывно, а их использование в сельском хозяйстве ограничено, в связи с чем они должны быть складированы, что представляет собой серьезную проблему. Большое количество осадка не годится для использования в сельском хозяйстве из-за высоких требований, предъявляемых их свойствам (Милюнец, 2005; Чекала, 2009; Олещук и Голлерт, 2011). В качестве наиболее распространенных удобрений в сельском хозяйстве применяются осадки сточных вод агропродовольственной промышленности (Сюта, 2001).

8.4.1.2. Использование ОСВ для рекультивации деградированных или опустошенных земель

Осадки бытовых сточных вод в связи с присутствием в них микроэлементов и вредных веществ редко используются в сельском хозяйстве, но возможно их натуральное применение, особенно для рекультивации деградированных земель (Слизовски, 2002). Деградированными или опустошенными территориями являются участки земли, которые, утратив свои свойства, перестали исполнять экологические и производственные функции, но частично сохранили морфологические особенности почвы.

Целью применения осадков сточных вод является восстановление на этих участках слоя гумуса и увеличение питательных веществ до уровня, необходимого почве для обретения первоначальных свойств, или формирование участка с целью выполнения новых функций. Такой рекультивации чаще всего подвергаются промышленные территории, складские участки отходов, залежные земли и другие территории, лишенные гумусного слоя и питательных веществ. Доза осадка зависит от вида грунта, который будет подлежать рекультивации, и способа его использования после процесса рекультивации. Удобрение компостированными осадками – лучший способ рекультивации такого рода участков (Сюта, 2003; Милюнец, 2005; Демидович и др., 2006; Ванг и др., 2008).

Осадки сточных вод оказывают благотворное влияние на параметры деградированных почв. Хорошим заменителем почвы являются осадки промышленных сточных вод, особенно деревоперерабатывающей и пищевой промышленности. Они могут быть

использованы для удобрения деградированных земель, загрязненных тяжелыми металлами. Эти осадки пригодны для рекультивации ввиду их высокой влажности, соответствующего содержания органической материи, С, N и P, гуминовых кислот и важнейших групп микроорганизмов. Эффект применения таких осадков отличается стабильностью. В сравнении с осадками бытовых сточных вод анализируемые осадки содержат значительно меньшее количество тяжелых металлов (Новак и др., 2010).

Осадки сточных вод могут служить в целях рекультивации участков свалок промышленных и бытовых отходов. Особенно это касается складских участков мелкозернистых отходов, где существенную роль играет защита от водной и ветровой эрозии. Это возможно благодаря полезным свойствам осадков, таким как коллоидная консистенция и обилие компонентов гумуса в удобрении. Добавление ОСВ одновременно с посевом семян растений позволяет озеленить территорию склада в короткие сроки, предупреждая неблагоприятные последствия, связанные с распространением пыли с его поверхности (Сюта, 2005).

8.4.1.3. Производство компоста из осадков

Сырые осадки сточных вод непригодны для непосредственного использования в качестве удобрений, поскольку часто содержат значительное количество тяжелых металлов, болезнетворных организмов и паразитов и их яиц (Янош-Райчик, 2004). Для того чтобы получить возможность использования их натуральным способом, осадки поддаются стабилизации в ходе процесса компостирования, который является биологическим методом получения органического удобрения (Кухарчак и др., 2010). Компостирование осадков сточных вод – наиболее рациональный метод переработки осадков, благодаря которому изменяется их химический состав и свойства, а конечный продукт безопасен для окружающей среды.

Компостирование осадков – это своего рода органический рециклинг, заключающийся в возврате веществ, содержащихся в осадке, в окружающую среду (Миллюнец, 2005). Осадки сточных вод медленно поддаются разложению, темп их разложения зависит от соотношения С : N (Чекала, 2002). Намного предпочтительнее процесс компостирования осадка, который ведет к раз-

ложению сложных органических соединений и появлению веществ в доступном для растений виде. Кроме того, ввиду значительного количества веществ, восприимчивых к процессу биодegradации, осадки сточных вод являются идеальным субстратом для производства компоста.

Традиционный процесс переработки и обезвреживания осадков сточных вод путем компостирования выполняет две основные функции: во-первых, видоизменяет отходы, содержащие легко разлагающиеся органические вещества, в стабильный материал, не представляющий угрозы для окружающей среды, являющийся безопасным материалом с точки зрения санитарно-гигиенических норм, удобный для складирования, транспортировки и применения. Во-вторых, компостирование – это производство высококачественного органического удобрения (компоста), который не содержит чрезмерного количества вредных веществ (Бень, 2002; Сютя, 2002).

Компостирование является лучшим, простым и старым способом переработки осадков для использования в качестве удобрения и в целях рекультивации. Содержащаяся в осадках органическая материя превращается в прочный гумус. Осадки сточных вод могут поддаваться компостированию без использования растительной массы или в соединении с ней. После компостирования приобретают консистенцию земли, отличающуюся комковатой структурой. Важнейшим параметром в процессе компостирования является соотношение угля к азоту (Кшивы, 2000).

В ходе процесса компостирования изменяется содержание питательных веществ: N, P, K – возрастает уровень их концентрации и снижается содержание натрия. Осадки сточных вод можно компостировать, добавляя различные материалы со структурообразующими свойствами, в частности солому или опилки. Добавки к компостируемым осадкам сточных вод в виде разных материалов, характеризующихся высоким соотношением C : N, создают оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, а также улучшают структуру компостированной массы. Компостирование осадков сточных вод с биоотходами увеличивает количество общего азота в зрелом компосте, а также увеличивает участие негидролизуемого азота в гуминовых

соединениях (Иранзо и др., 2004; Банегас и др., 2007; Чекала, 2012). Более эффективным считается процесс компостирования осадка с соломой, опилками или другим материалом, используемым с целью обеспечения большего количества органического угля, что поднимает эффективность процесса. Кроме того, такие добавки благоприятно влияют на структуру компоста, улучшая его пористость. Добавление соломы или опилок составляет 30 % общей массы, после смешения осадка с добавками можно использовать разные техники компостирования (Демидович и др., 2006).

Наиболее популярной и известной техникой компостирования является компостирование в призмах. Оно заключается в том, что смешанные с добавками ОСВ укладываются в кучи с треугольным или трапециевидным сечением. Данные трапеции могут иметь любую длину, но высота их зависит от способа аэрации. Несмешанные призмы, как правило, имеют высоту до 1,5 м, периодически переворачиваемые призмы – до 3,5 м, а призмы с установленной системой аэрации – до 5 м. Благодаря такому способу компостирования осадки сточных вод получают достаточно хорошую стабилизацию. Другие методы компостирования – это компостирование в контейнерах или специально подготовленных для этой цели камерах, а также барабанное, ленточное, башенное и туннельное компостирование (Ендрчак и Хазяк, 2005; Госьцински, 2007).

Процесс компостирования осадка сточных вод, производимый в механико-биологических очистных сооружениях проходит четыре этапа, отличающихся температурой:

– мезофильная фаза – этап предварительного компостирования, при котором температура компостированного осадка медленно возрастает, процесс продолжается несколько дней;

– термофильная фаза – этап интенсивного компостирования, при котором температура компостированного осадка достигает 50–65 °С, иногда 80 °С и выше. Во время этой фазы процессы компостирования ослабевают, происходит разложение белка, углеводов и сахара, а также жиров на воду, диоксид углерода и аммиак. Эта стадия продолжается от нескольких дней до нескольких недель;

– фаза охлаждения – этап компостирования, при котором температура медленно понижается. Происходит разложение трудно биodeградируемых лигнинов, целлюлозы, гемицеллюлозы, воска и смол. Происходит значительное уменьшение объема компостированного материала. Эта стадия начинается в течение третьей или пятой недели компостирования и продолжается от 3 до 5 недель;

– фаза созревания компоста – это завершающий этап компостирования, во время которого происходит охлаждение. Компостированный осадок приобретает соответствующие свойства, и его фракция становится более стабильной. Эта стадия может продолжаться несколько месяцев (Ендрчак и Хазяк, 2005; Госьцински, 2007; Дах 2009).

Процесс компостирования осадков зависит от таких факторов, как вид микрофауны, степень насыщения кислородом и влажностью, температура, зернистость и род примеси. Именно поэтому процесс компостирования должен проходить под непрерывным контролем с соблюдением оптимальных условий, что позволит обеспечить максимально эффективное производство компоста высокого качества (Госьцински, 2007; Олещук, 2008). Компостированные осадки, смешанные с соломой или опилками, являются хорошей почвой для растений, остро нуждающихся в питательных веществах. Правильно прокомпостированные осадки отличаются темным цветом, отсутствием неприятного запаха и губчатой структурой (Демидович и др., 2006).

Полученные компосты из осадков сточных вод, благодаря своим свойствам, могут быть использованы для удобрения почвы под посадку растений, применяемых в энергетических целях, а также для рекультивации деградированных участков и территорий с отсутствием слоя гумуса. Натуральное использование этих продуктов выступает в качестве альтернативы минеральным удобрениям. Кроме того, компосты могут быть дополнением к минеральным удобрениям (Стефен и Смит, 2009).

Процесс компостирования осадка сточных вод значительно влияет на уровень содержания макрокомпонентов в конечном продукте, свойства которого зависят от добавляемых субстанций

в ходе компостирования. Добавление структурообразующих компонентов благотворно влияет на качество получаемого компоста и ускоряет процесс минерализации органической материи. Параллельно уменьшается содержание тяжелых металлов и вредных веществ в массе компоста. В исследованиях Цецько и др. (2003, 2004, 2005) говорится, что осадки бытовых сточных вод городских очистных сооружений «Лына» г. Олыштына компостировались следующими способами: без добавок (контрольный объект), с добавлением извести, 20 % опилок хвойных деревьев, 40 % опилок хвойных деревьев, 20 % ржаной соломы, 40 % ржаной соломы, 20 % навоза и 40 % навоза. Компостирование осуществлялось в течение 24 недель, с сохранением на протяжении всего периода влажности на уровне 60 %. Согласно постановлению министра окружающей среды (2010) исследуемые ОСВ были пригодны для натурального использования, учитывая содержание микроэлементов и полициклических ароматических углеводов.

Во время компостирования, независимо от добавления нейтрализующих примесей, отмечен равномерный рост содержания общего калия, особенно в компостах, производимых с добавлением опилок и навоза (табл. 8.8). Уровень магния значительно поднялся в компостах с добавлением 40 % опилок и 20 % соломы (табл. 8.9). Максимальный рост общей концентрации кальция отмечен в компостах с добавлением 40 % опилок и 40 % соломы (табл. 8.10). В осадках сточных вод, компостированных без органических добавок, уровень содержания калия был меньше наполовину, а магния – ниже и составлял 39 и 35 % чистого осадка (контрольного объекта), а также варианта с известью.

Рост количества растворимого калия в 0,5 м hcl был минимальным в осадках без органических добавок, что указывает на низкий темп минерализации (табл. 8.11). В других компостах было заметно увеличение количества калия исследуемой фракции, которое колебалось от 2 в массе с добавлением 20 % опилок до 20 в массе с добавлением 40 % соломы. Изменения содержания растворимого магния фракции были относительно невелики, а в массе без органических добавок и в компостах с добавлением навоза не отмечено изменений концентрации данной формы магния (табл. 8.12). Сравнительно большее увеличение содержания растворимых форм кальция относительно компостов без органиче-

ских добавок отмечено в компостах с опилками и соломой, несколько меньше в компостах с навозом (табл. 813).

Таблица 8.8

Общее содержание калия в осадках сточных вод в процессе компостирования, в г · кг⁻¹ с. м. (Цецько и др., 2005)

Вид компоста	Сырой материал	Период компостирования (в неделях)					
		4	8	12	16	20	24
Осадок	3,7	3,9	3,0	4,4	4,7	5,3	5,4
Осадок + известь	3,7	4,1	3,2	4,4	4,5	5,3	5,4
Осадок + 20 % опилок	3,0	3,1	3,3	3,7	4,1	4,4	4,8
Осадок + 40 % опилок	2,4	2,5	2,9	2,6	4,1	4,6	4,8
Осадок + 20 % соломы	4,8	4,9	4,6	5,4	5,8	6,3	6,6
Осадок + 40 % соломы	6,2	6,3	6,6	6,8	7,5	7,4	7,9
Осадок + 20 % навоза	4,6	6,8	6,3	6,9	7,1	7,6	7,4
Осадок + 40 % навоза	5,6	8,1	8,4	9,1	9,4	9,9	10,2
NIR _(p=0,01) для: времени компостирования – 2,7; вида компоста – 2,7							

Таблица 8.9

Общее содержание магния в осадках сточных вод в процессе компостирования, в г · кг⁻¹ с. м. (Цецько и др., 2003)

Вид компоста	Сырой материал	Период компостирования (в неделях)					
		4	8	12	16	20	24
Осадок	2,6	2,6	2,8	2,8	2,8	3,3	3,6
Осадок + известь	2,6	2,7	2,8	3,1	2,9	3,7	3,5
Осадок + 20 % опилок	2,0	2,2	2,6	2,4	3,5	3,0	3,2
Осадок + 40 % опилок	1,7	1,9	2,4	2,5	2,8	3,1	3,3
Осадок + 20 % соломы	2,1	2,3	2,5	3,0	3,1	3,6	3,9
Осадок + 40 % соломы	1,7	1,9	2,3	2,7	2,9	3,0	3,1
Осадок + 20 % навоза	2,1	2,3	2,2	2,5	2,9	3,0	3,0
Осадок + 40 % навоза	2,3	2,5	3,1	2,7	2,9	3,1	3,2
NIR _(p=0,01) для: времени компостирования – 0,7; вида компоста – 0,7							

Таблица 8.10

Общее содержание кальция в осадках сточных вод в процессе компостирования, в г · кг⁻¹ с. м. (Цецько и др., 2004)

Вид компоста	Сырой материал	Период компостирования (в неделях)					
		4	8	12	16	20	24
1	2	3	4	5	6	7	8
Осадок	13,7	13,9	14,2	14,8	15,3	15,9	15,8
Осадок + известь	14,7	16,3	16,9	18,7	18,7	18,9	19,2

Продолжение таблицы 8.10

1	2	3	4	5	6	7	8
Осадок + 20 % опилок	11,1	13,5	13,5	15,4	16,0	17,8	17,4
Осадок + 40 % опилок	8,4	13,3	13,7	15,1	15,3	15,8	17,6
Осадок + 20 % соломы	11,4	15,8	16,2	16,1	15,8	18,0	18,7
Осадок + 40 % соломы	9,0	12,0	13,5	14,0	16,1	19,5	18,6
Осадок + 20 % навоза	11,8	13,8	14,6	15,6	16,0	16,7	17,0
Осадок + 40 % навоза	9,8	14,5	15,5	15,5	18,6	19,0	18,6
NIR _(p=0,01) для: времени компостирования – 3,6; вида компоста – 3,6							

Таблица 8.11

Содержание растворимого калия в 0,5 М НСl в осадках сточных вод в процессе компостирования, в г · кг⁻¹ с. м. (Цецько и др. 2005)

Вид компоста	Сырой материал	Период компостирования (в неделях)					
		4	8	12	16	20	24
Осадок	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Осадок + известь	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Осадок + 20 % опилок	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Осадок + 40 % опилок	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6
Осадок + 20 % соломы	0,2	1,5	1,5	1,8	1,5	1,7	1,7
Осадок + 40 % соломы	0,2	2,9	3,1	2,8	3,3	2,8	4,0
Осадок + 20 % навоза	1,9	6,2	6,4	5,5	6,9	6,1	7,2
Осадок + 40 % навоза	3,5	5,8	9,7	8,7	10,3	8,1	7,8
NIR _(p=0,01) для: времени компостирования – 4,0; вида компоста – 4,0							

Таблица 8.12

Содержание растворимого магния в 0,5 М НСl в осадках сточных вод в процессе компостирования, в г · кг⁻¹ с. м. (Цецько и др. 2003)

Вид компоста	Сырой материал	Период компостирования (в неделях)					
		4	8	12	16	20	24
Осадок	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Осадок + известь	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Осадок + 20 % опилок	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
Осадок + 40 % опилок	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Осадок + 20 % соломы	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Осадок + 40 % соломы	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Осадок + 20 % навоза	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,03	0,3
Осадок + 40 % навоза	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
NIR _(p=0,01) для: времени компостирования – 0,1; вида компоста – 0,1							

Таблица 8.13

Содержание растворимого кальция в 0,5 М HCl в осадках сточных вод в процессе компостирования, в г · кг⁻¹ с. м. (Цецько и др., 2004)

Вид компоста	Сырой материал	Период компостирования (в неделях)					
		4	8	12	16	20	24
Осадок	2,3	2,5	2,2	2,5	2,5	2,4	2,6
Осадок + известь	2,3	2,9	2,4	2,5	2,6	2,2	2,6
Осадок + 20 % опилок	1,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,3
Осадок + 40 % опилок	1,4	2,1	2,2	2,0	2,1	2,1	2,3
Осадок + 20 % соломы	1,8	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3
Осадок + 40 % соломы	1,4	1,9	2,1	2,1	2,5	2,2	2,4
Осадок + 20 % навоза	2,1	2,5	2,4	2,4	2,3	2,5	2,4
Осадок + 40 % навоза	1,9	2,4	2,2	2,2	2,4	2,3	2,4
NIR _(p=0,01) для: времени компостирования – 0,4; вида компоста – 0,4							

8.4.1.4. Использование осадков сточных вод для удобрения энергетических растений

Удобрение энергетических растений осадками сточных вод, переработанными на механико-биологических очистных станциях, является популярным способом использования осадков. В нашей стране растет число теплоцентралей, которые используют для производства термической энергии растительную биомассу. В связи с этим растет спрос на энергетические растения, которые можно удобрять осадками сточных вод. На данные плантации осадки могут высыпаться в виде компоста или выливаться в виде предварительно переработанного и разбавленного осадка. Осадки сточных вод в своем составе содержат множество веществ, необходимых энергетическим растениям. Кроме того, влажный осадок доставляет растениям воду в засушливый период. Энергетические растения характеризуются быстрым приростом биомассы, поэтому им необходимо большое количество воды и питательных компонентов, содержащихся в осадках (Вардзиньска, 2000; Борковска и Стык, 2002; Очепи и др., 2008).

К растениям, выращиваемым на осадках сточных вод, относятся: ива прутовидная (*Salix viminalis*), мальва энергетическая (*Sida hermaphrodita*), мискантус гигантский (*Miscanthus giganteus*), топинамбур (*Helianthus tuberosus*), канареечник тростниковид-

ный (*Phalaris arundinacea*) и горец сахалинский (*Reynoutria sachalinensis*).

Благодаря такому использованию осадков сточных вод растения получают необходимые питательные вещества, а содержащиеся вещества в осадках поддаются вторичному использованию. Таким образом, различные вещества ОСВ проходят рециклинг и попадают в естественный круговорот. Энергетические растения обладают способностью впитывать вредные вещества из почвы и накапливать их в своей биомассе. Такое использование осадков не создает санитарной угрозы, поскольку энергетические растения предназначены для сжигания, а не для производства комбикормов или в потребительских целях. Процесс сжигания уничтожает некоторые вредные соединения, содержащиеся в растениях. После этого процесса почти все вредные вещества остаются в золе, и в частности тяжелые металлы. Благодаря использованию энергетических растений и осадков сточных вод можно осуществлять рекультивацию грунтов, у которых отсутствует слой гумуса или произошло загрязнение вредными веществами. Такое обращение с осадками сточных вод является одной из лучших и самых дешевых форм использования (Вардзиньска, 2000; Борковска и Стык, 2002; Кростад и др., 2005).

Использование компостов из остатков сточных вод и бытовых отходов – превосходная альтернатива минеральным удобрениям. Компосты содержат все необходимые для растений микроэлементы и минеральные вещества, такие как азот, фосфор, кальций, сера и магний, что ставит их в один ряд с качественными органическими удобрениями: навозом и перегноем (Лисовски, Порвисяк, 2010). Исследования, проведенные Борковской и другими (1996, 2001), показали, что применение компостов и осадков сточных вод вкупе с минеральными удобрениями обеспечивает рост урожайности мальвы энергетической. Однако увеличение биомассы растений зависит не только от дозы удобрений, но также от вида примененного компоста и его зрелости, то есть степени разложения органической материи.

Возможно, одной из причин ограничения роста биомассы является высокое загрязнение компостов микроэлементами (Борковска и др., 2001). По мнению Казак и других (2006), рост биомассы и полученные микроэлементы после первого года приме-

нения осадка чаще всего находятся на высоком уровне, в последующие годы наблюдается тенденция к уменьшению биомассы и становятся заметны признаки токсичности микроэлементов, что влияет на впитывание растениями макроэлементов, особенно таких, как азот и фосфор.

Осадки сточных вод после компостирования могут быть подвергнуты процессам с использованием калифорнийских червей. Компост из осадков содержит большие количества питательных веществ, которые употребляют черви. Продукт, производимый этими организмами, называется биогумусом. Биогумус после проведения соответствующих исследований и при условии соответствия нормам может быть использован в качестве садового удобрения (Демидович и др., 2006).

8.4.1.5. Влияние использования ОСВ на свойства почв и растений

Осадки бытовых сточных сельских очистных станций или сточных вод агропищевой промышленности содержат значительное количество питательных компонентов для растений. Применение их в качестве удобрения почвы оказывает благоприятное воздействие на ее свойства. Содержание питательных компонентов для растений в осадках сточных вод и органические вещества ставит их в один ряд по значимости с навозом (Шведзяк, 2006). Применение этих отходов положительно влияет на обеспечение почв питательными веществами, необходимыми для роста и развития растений, почвенными микроорганизмами и фауной. Кроме того оно влияет на улучшение структуры почвы, чего нельзя достичь в случае использования минеральных удобрений (Гондек, Филипек-Мазур, 2006; Шведзяк, 2006; Сиута 2001, 2002).

Применение осадков сточных вод в сельском хозяйстве для удобрения почв – правильный метод обращения с ними, поскольку ОСВ являются хорошим органическим удобрением с высокими почвообразовательными качествами, тем более что в польских условиях преобладают легкие почвы (Кшивы, 2000). Результаты исследований указывают на положительный эффект применения осадков сточных вод в почве с большим количеством послеуборочных растительных остатков. В таких условиях в почве наблюдается низкий уровень азота, который может быть восполнен с

помощью добавления осадков с достаточным содержанием этого компонента (Сулевска, Козяра, 2007).

Кроме положительного влияния на физико-химические свойства почвы, т. е. увеличение содержания макроэлементов, влажности, органического угля и биологически активного гумуса (Чечко и др., 2001 а; Фернандез и др., 2008), осадки сточных вод оказывают сильное воздействие на ее микробиологические свойства и энзимную активность (Кухарски и др., 2000; Thi Bich Loc 2000; Вышковска и др., 2004). Некоторые осадки сточных вод могут стать причиной усиления активной и потенциальной кислотности почвы, а также увеличивать содержание легкогидролизуемого азота, благоприятствуя его вымыванию. Азот выделяется во время минерализации, а добавленный в осадках сточных вод исполняет роль удобрения и одновременно участвует в процессе гумусообразования (Чекала, 2002). Осадки сточных вод, особенно компостированные, могут ускорять процесс нитрификации (Заман и др., 2004). Благодаря легкой растворимости калий является компонентом, наиболее активно перемещающимся в почве (Чекала, 2002). Использование осадков может способствовать уменьшению содержания калия (Гживнович, Струтынський, 1999).

Регулярное применение компостов из осадков сточных вод увеличивает содержание почвенного гумуса (Синг, Аграваль, 2008; Сухадольц и др., 2010; Игнатович и др., 2011), а также влияет на существенный рост биомассы микроорганизмов в почве, уменьшает разнородность живых организмов и увеличивает активность ферментов в почве (Банерье и др., 1997; Синх, Аграваль, 2008). Удобрение осадками сточных вод ведет также к увеличению содержания азота в почве и усваиваемых форм фосфора и калия (Сондей и др., 2009; Сухадольц и др., 2010). Применение компостов из осадков сточных вод повышает уровень влажности и респирацию почвы, улучшает ее пористость, увеличивает содержание воды и плотность (Синг, Аграваль, 2008; Сонг, Lee 2010). На песчаных землях применение таких отходов увеличивает их способность сохранять питательные вещества, а также улучшает аэрацию глинистых и тяжелых почв (Кшивы, 2000).

Наши исследования показали, что применение ОСВ и произведенных на их основе компостов повысило уровень содержания азота и органического угля в удобренной почве на следующую

щий год после применения этих осадков (рис. 8.11 и 8.12). Использованные осадки сточных вод увеличили содержание азота в почве, по сравнению с контролируемым участком. Действие компостированных осадков с соломой и осадков сточных вод молочной промышленности более эффективно, нежели действие осадка бытовых сточных вод (рис. 8.11). Удобрение почвы осадками бытовых и промышленных сточных вод повлияло также на уровень содержания органического угля в почве (рис. 8.12).

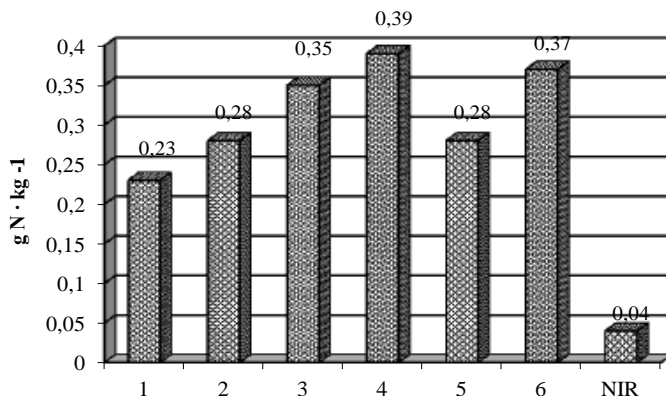


Рис. 8.11. Влияние использования осадков сточных вод на содержание общего азота в почве

(Сондей, Намётко, неопубликованные материалы)

Наименьшее значимое различие (NIR)

- 1 – контроль; 2 – свежий стабилизированный осадок; 3– осадок, компостированный с соломой 1 месяц; 4 – осадок, компостированный с соломой 6 месяцев; 5 – осадок, компостированный 6 месяцев; 6 – осадок сточных вод молочной промышленности

Наиболее благотворно на этот показатель повлияло применение осадка бытовых сточных вод, компостированного с соломой в течение 1 месяца. Здесь содержание органического угля было в 2,7 раза больше, чем на контрольном объекте. Хуже результат показал осадок сточных вод, компостированный в течение 6 месяцев. На остальных объектах содержание органического угля находилось на уровне 2,78 и 3,31 г · кг⁻¹ почвы.

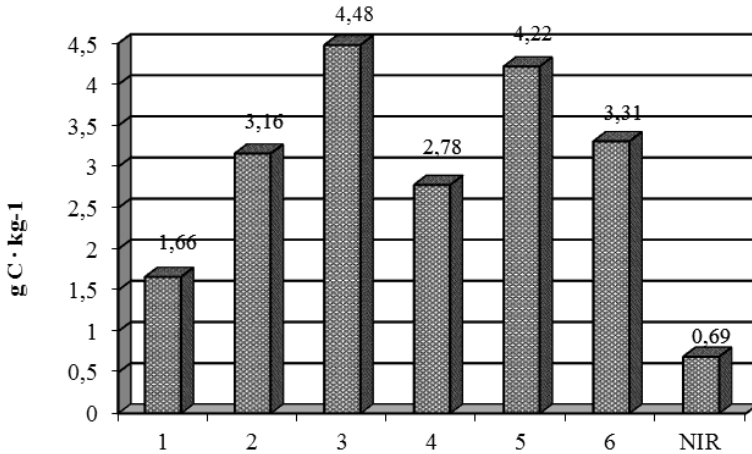


Рис. 8.12. Влияние использования осадков сточных вод на содержание органического углерода в почве

(Сондей, Намётко, неопубликованные материалы)

Наименьшее значимое различие (NIR)

1 – контроль; 2 – свежий стабилизированный осадок; 3 – осадок, компостированный с соломой 1 месяц; 4 – осадок, компостированный с соломой 6 месяцев; 5 – осадок, компостированный 6 месяцев; 6 – осадок сточных вод молочной промышленности

Другим эффектом применения ОСВ является их влияние на реакцию почвы, как правило, наблюдается повышение уровня реакции, однако этот эффект не стабильный. Осадки сточных вод также могут увеличивать засоленность почвы (Греинерт и др., 2009).

Исследования Калембас и других (2009) показали, что удобрение палевых почв осадками сточных вод повысило уровень рН, сумму щелочных катионов, сорбции катионов, степень насыщения почвы щелочными катионами, содержание органического углерода и общего азота. Но при этом понизился уровень гидrolитической кислотности и соотношения С : N по сравнению с неудобренной почвой. Максимальное влияние удобрения осадком на исследуемые свойства отмечено в верхних слоях почвы (Калембаса и др., 2009).

В исследованиях, проведенных Сондей и другими (2009), отмечено, что под воздействием удобрения ОСВ и компостами, произведенными на их основе, отчетливо изменялись сорбционные свойства почвы, они были значительно больше после применения компостов, нежели после использования ОСВ (табл. 8.14).

Таблица 8.14

Изменение физико-химических особенностей почвы, удобренной осадками сточных вод (Сондей и др., 2007)

Объекты		Hh	S	T	V
		mmol (+)·кг ⁻¹			%
1.	Контроль	27,7	70,3	98,0	71,7
2.	Навоз *	24,7	81,3	106,0	76,7
3.	Навоз**;	25,5	101,1	126,6	79,8
4.	NPK	25,8	76,2	102,0	74,7
5.	Осадки сточных вод *	25,4	78,7	104,1	75,6
6.	Осадки сточных вод **	22,5	84,3	106,8	78,9
7.	Компост из осадков сточных вод*	24,4	80,9	105,3	76,8
8.	Компост из осадков сточных вод*	25,5	89,9	115,4	77,9
9.	Компост из осадков сточных вод + солома*	25,1	80,4	105,5	76,2
10.	Компост из осадков сточных вод + солома**	26,6	109,0	135,6	80,4
NIR _{0.05} ; Наименьшее значимое различие (NIR)					
Для удобрений;		1,9	4,4	6,1	
Для дозы;		1,1	3,3	5,2	

* – 5 т·га⁻¹

** – 10 т·га⁻¹с.м.

На формирование показателя гидролитической кислотности существенное влияние оказывали вид и дозы используемой удобряющей добавки. В сочетании с минеральными удобрениями применяемые осадки сточных вод и компосты, так же как и навоз, давали неплохой показатель окисления почвы. Относительно результатов, полученных на почве контрольного объекта, констатировано понижение уровня гидролитической кислотности во всех объектах, где применялись осадки сточных вод. Более интенсивное падение уровня концентрации водородных ионов констатировано в почве, где использовались только осадки сточных вод, осушенные или прокомпостированные в призме, чем в почве

с применением осадков, прокомпостированных с соломой. Минимальное количество водородных ионов обнаружено в почве, удобренной высушенным гранулированным осадком в количестве $10 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{с.м.}$ На всех объектах, где применялись компосты, замечено значительно выше содержание щелочных катионов по сравнению с контрольным объектом. Самое значительное влияние на показатель суммы щелочных катионов оказал компост из осадков сточных вод с соломой, примененный в количестве $10 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{с.м.}$ Следовательно, можно сделать вывод, что этот компост является ценным удобрением, способным смягчать негативное влияние несбалансированного минерального удобрения и сильного окисления почвы.

Влияние осадков сточных вод на микробиологические свойства и энзимную активность почвы зависит от их химического состава, в частности от наличия токсичных веществ, таких как микроэлементы, полициклические ароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы, остатки средств, использованных для защиты растений, и санитарного состояния осадков. Тяжелые металлы и вредные вещества ограничивают развитие почвенных микроорганизмов, это ведет к биологическому дисбалансу почвы (Морено и др., 2002), что становится особенно опасным в случае продолжительного использования ОСВ (Нагар и др., 2006). Осадки сточных вод могут повысить мобильность тяжелых металлов в почве (Морено и др., 2002). На основании данных THI BICH LOC (2000) и THI BICH LOC и Пёнтек (2000), большое количество микробов в осадках сточных вод тесно коррелирует с высоким содержанием органического вещества. Исследования этих авторов утверждают, что в сточных осадках присутствует самое большое количество органотрофов, меньше аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий и наименее патогенных грибов и болезнетворных бактерий. Органические части ОСВ и минеральные компоненты (особенно азот) являются источником энергии для почвенных микроорганизмов. Однако следует вспомнить, что процессы минерализации органического вещества увеличивают содержание микроэлементов в осадках в формах, доступных растениям.

В исследованиях Вышковской и других (2004), проведенных с использованием осадков очистных сооружений польских

городов: Бискупца, Илавы, Лидзбарка-Варминского, Мронгово, Ольштына, Ольштынка, Остроленки, Оструды, Семпополя, Залево, Гданьска, Катовице и Варшавы, отмечено увеличение среднего количества органотрофов и актиномицетов в почве (рис. 8.13 и 8.14). Рост их числа усиливался после применения осадков из городов: Катовице (в 3,3 раза), Остроленки (в 2,5 раза), Бискупца и Ольштына (в 2,4 раза). Все осадки, за исключением произведенных в Гданьске, благотворно влияли на развитие актиномицетов.

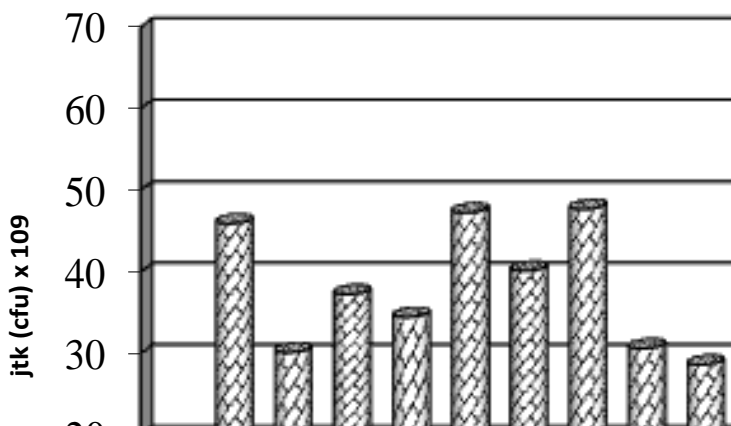


Рис. 8.13. Среднее количество органотрофов в 1 кг с.м. почвы, загрязненной осадками сточных вод (Вышковска и др., 2004)

*) 1 – контроль, 2 – Бискупец, 3 – Илава, 4 – Лидзбарк, 5 – Мронгово, 6 – Ольштын, 7 – Ольштынек, 8 – Остроленка, 9 – Оструда, 10 – Семпополь, 11 – Залево, 12 – Гданьск, 13 – Катовице, 14 – Варшава

Наиболее высокое количество их в почве обнаружено после выброса осадков из Илавы и Катовице – увеличение в 2 раза, из Лидзбарка, Ольштынка и Остроленки – увеличение примерно в 1,7 раза. Размножение грибов возросло после применения осадков сточных вод очистных станций Бискупца, Илавы, Ольштына, Ольштынка Оструды, Катовице и Варшавы, причем влияние осадков из Бискупца было самым значительным. Осадки из Бискупца вызвали 6-кратное увеличение количества грибов, что оказывает негативное влияние на санитарное состояние почвы, в связи с наличие видов, продуцируемых микотоксины (рис. 8.15).

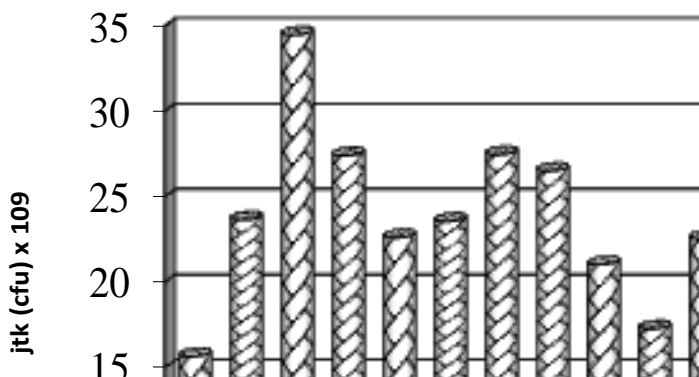


Рис. 8.14. Среднее количество актиномицетов в 1 кг с.м. почвы, загрязненной осадками сточных вод (Вышковска и др., 2004)

*) 1 – контроль, 2 – Бискупец, 3 – Илава, 4 – Лидзбарк, 5 – Мронгово, 6 – Ольштын, 7 – Ольштынек, 8 – Остроленка, 9 – Оструда, 10 – Семпополь, 11 – Залево, 12 – Гданьск, 13 – Катовице, 14 – Варшава

В почвах, кроме микроорганизмов, участвующих в циркуляции элементов, а также представляющих угрозу для здоровья человека и других живых организмов, встречаются микроорганизмы, способные разрушать различные соединения: нефтяных веществ, ПАУ, остатков пестицидов и даже органических отходов (Пауль, Кларк, 2000). На увеличение количества этих организмов влияют остатки сточных вод.

По мнению Езерской-Тыс и других (2010), ОСВ могут содержать сапрофитные грибы (нейтральные в санитарном плане), а также потенциально болезнетворные и вырабатывающие токсины грибы. Потенциально болезнетворные грибы являются возбудителями многочисленных заболеваний, включая аллергические, чаще всего касающиеся дыхательных путей, а грибы, вырабатывающие токсины, – это плесневые грибы, которые производят афлатоксины, охратоксины, трихотецены, зеараленон и другие микотоксины (Кацпшак и др., 2005). Присутствие грибов, представляющих угрозу здоровью человека и живым организмам, зависит от вида осадков. Фронц (2012) считает, что в осадках сточных вод очистных сооружений молочной промышленности преобладают безобидные сапротрофы.

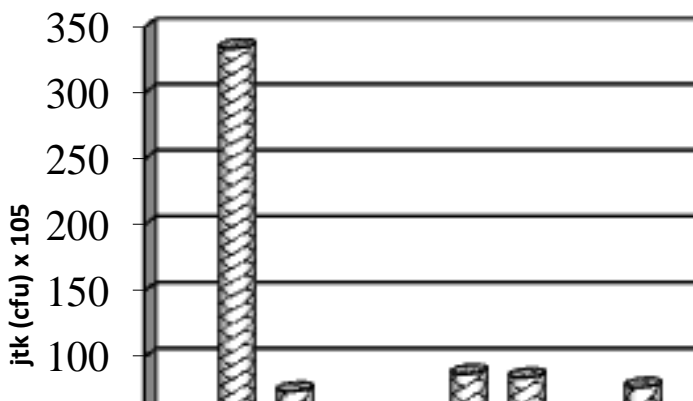


Рис. 8.15. Среднее количество грибов в 1 кг с.м. почвы, загрязненной осадками сточных вод (Вышковска и др., 2004)

^{*)} 1 – контроль, 2 – Бискупец, 3 – Илава, 4 – Лидзбарк, 5 – Мронгово, 6 – Ольштын, 7 – Ольштынек, 8 – Остроленка, 9 – Оструда, 10 – Семпополь, 11 – Залево, 12 – Гданьск, 13 – Катовице, 14 – Варшава

Следовательно, предпочтительно употребление таких осадков в целях рекультивации грунтов, поскольку вероятность возникновения опасности для здоровья людей минимальна. В осадках сточных вод могут также выступать другие болезнетворные микроорганизмы (бактерии *Enterobacteriaceae* вида *Salmonella*) и яйца паразитов пищеварительного тракта (например, *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*) (Лёц, 2002). Прежде чем направить осадки сточных вод в целях натурального использования, необходимо обратить особое внимание на их санитарное состояние, выполняя соответствующие микробиологические и паразитологические анализы.

На основании данных ТНІ ВІСН LOC (2000) и ТНІ ВІСН LOC и Пёнтек (2000) комплекс микроорганизмов в значительной степени зависит от загрязнений тяжелыми металлами и санитарного состояния осадков. В исследованиях Вышковской и других, (2004) показатель органотрофов актиномицетов положительно коррелировал с содержанием полициклических ароматических углеводородов, свинца, хрома и никеля, и отрицательно с содержанием пестицидов и полихлорированных бифенилов (табл. 8.15)

Таблица 8.15

Коэффициенты корреляции между показателями микроорганизмов и содержанием тяжелых металлов ПХБ и ПАУ в осадках сточных вод (Org, Act, Fun – Вышковска и др., 2004; Deh, Ure, Pac, Pal – Кухарски и др., 2000)

Переменная	Org	Act	Fun	Deh	Ure	Pac	Pal
ПХБ	-0,18	-0,22	0,00	0,15	-0,33	-0,34	-0,49
ПАУ	0,29	0,32	-0,14	-0,43	-0,20	0,64	-0,12
Σ пестициды	-0,06	-0,27	0,18	-0,02	-0,55	-0,17	-0,54
Pb	0,52	0,31	-0,03	-0,40	0,11	0,19	0,28
Cd	0,18	0,00	-0,27	0,04	-0,39	-0,23	-0,55
Cr	0,38	0,20	0,02	-0,42	-0,06	-0,54	-0,15
Ni	0,45	0,26	0,06	-0,31	-0,40	0,28	-0,53

Org – органотрофы, Act – актиномицеты, Fun – грибки;

Активность: Deh – дегидрогеназы, Ure – уреазы, Pac – кислая фосфатаза, Pal – щелочная фосфатаза.

Влияние осадков на активность ферментов почвы зависит от происхождения осадка, его дозы, содержания органических и минеральных соединений и от вида исследуемого фермента. В исследованиях Кухарского и других (2000), некоторые осадки сточных вод оказывали неблагоприятное воздействие на дегидрогеназы – ОСВ крупных агломераций: Гданьска, Катовице, Варшавы, Бискупца и Семпополя, а также и уреазы – осадки из Бискупца и Варшавы (рис. 8.16 и 8.17). Уменьшение активности дегидрогеназ представлено следующим способом: осадки сточных вод Бискупца – 63 %, Варшавы – 50 %, Семпополя – 36 %, Гданьска и Катовице – 21 %. Осадки оставшихся местностей оказывали благоприятное воздействие на активность дегидрогеназ и уреазы.

Увеличение активности дегидрогеназ представлено следующим образом: Лидзбарк – 150 %, Мронгово – 88 %, Остроленка – 72 % и Залево – 29 %. Максимальный (в 4 раза) рост активности уреазы в почве отмечен после выброса ОСВ из Мронгово. Осадки сточных вод всех исследованных местностей стимулировали активность кислой фосфатазы кислой и щелочной (рис. 8.18 и 8.19). Энзимная активность почвы отрицательно коррелировала с содержанием остатка средств защиты растений, полихлорированных бифенилов и кадмия, а дегидрогеназы, уреазы и щелочная фосфатаза с никелем (табл. 8.15).

Численность и активность почвенных микробов изменяется в течение года, особенно в течение вегетационного периода. Направление этих изменений зависит от вида осадка сточных вод, и особенно от содержания органических и вредных веществ (Кухарски и др., 2000; Вышковска и др., 2004).



Рис. 8.16. Средняя активность дегидрогеназ в почве, загрязненной осадками сточных вод, в $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ почвы (Кухарски и др., 2000)

Итак, утилизация осадков сточных вод, ввиду их значительного разнообразия, наличия вредных веществ, угрожающих здоровью людей и животных, представляет очень сложную проблему и требует проведения предварительного химического и микробиологического анализа состава (Вышковска и др., 2004).

Применение осадков сточных вод благоприятно влияет на урожайность. В процессе выращивания кукурузы осадок сточных вод способствовал увеличению прироста урожая в большей сте-

пени, чем навоз и перегной, а также повлиял на содержание влажности зерна, однако в случае сырья, предназначенного для солений, отмечено более высокое содержание сухой массы в продукте и крупные початки.



Рис. 8.17. Средняя активность уреазы в почве, загрязненной осадками сточных вод, в мг гидролиза мочевины · кг⁻¹ почвы (Кухарски и др., 2000)

Использование осадков сточных вод особенно оправдало себя в условиях нехватки воды, в связи с их гигроскопическими свойствами, и улучшило состояние почвы (Журавски и др., 1997; Сулевска, Козяра, 2007).

Положительное воздействие осадков сточных вод на урожайность отметили Сингх и Аграваль (2008). Исследования этих авторов касались реакции овощей, зерновых, трав и деревьев на удобрение осадками сточными вод. Отмечено, что выращивание культур с использованием высоких доз осадков сточных вод может стать причиной загрязнений растений тяжелыми металлами, а в результате создать угрозу здоровью.



Рис. 8.18. Средняя активность кислой фосфатазы в почве, загрязненной осадками сточных вод, в mmol паранитрофенол $\cdot \text{kg}^{-1}$ почвы (Кухарски и др., 2000)

Благоприятное воздействие компостов из осадков сточных вод на урожай энергетических растений, таких как мискантус и сида, продемонстрировали Очеп-Кубицка и Пахура (2013), а на деревья – Сонг и Ли (2010). В работах последних сообщается, что компосты из осадков сточных вод оказывали влияние на рост биомассы листьев деревьев, увеличение содержания хлорофилла и темпа фотосинтеза.

В наших исследованиях рассматривалось влияние осадков городских сточных вод и осадков, компостированных с соломой на протяжении 1 и 6 месяцев, а также осадков сточных вод молочной промышленности на урожайность мальвы энергетической (*Sida hermaphrodita* RUSBY) на втором году их использования (рис. 8.20).

Установлено, что применение осадков существенно увеличило рост зеленой массы мальвы энергетической. Наилучший ре-

зультат отмечен на объекте, где проходило удобрение осадком сточных вод, компостируемым в течение 6 месяцев.



Рис. 8.19. Средняя активность щелочной фосфатазы в почве, загрязненной осадками сточных вод, в mmol паранитрофенол · кг⁻¹ почвы (Кухарски и др., 2000)

Благоприятное воздействие, хотя с незначительно меньшим эффектом отмечено на объекте, удобряемом осадком промышленных сточных вод. Используемые осадки повлияли и на формирование содержания N, P, K и Mg в зеленой массе растений (рис. 8.21–8.24).

Содержание азота в результате удобрения осадками увеличилось в среднем два раза в сравнении с неудобренным объектом. Уровень содержания этого элемента колебался в пределах от 4,2 до 9,4 г·кг⁻¹ с.м. Максимальное количество компонента выявлено в растениях, выращиваемых на осадках сточных вод, компостируемых с соломой в течение 1 и 6 месяцев и на осадках сточных вод молочной промышленности (рис. 8.21).

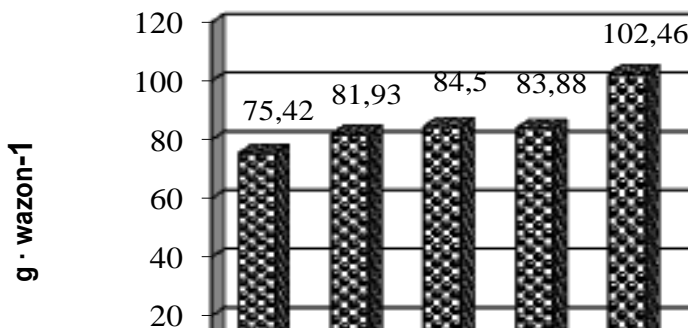


Рис. 8.20. Влияние использования осадков сточных вод на рост мальвы энергетической (*Sida hermaphrodita* RUSBY), г/сосуд (Сондей, Намётко, неопубликованные материалы)

Наименьшее значимое различие (NIR)

- 1 – контроль; 2 – свежий стабилизированный осадок; 3 – осадок, компостированный с соломой 1 месяц; 4 – осадок, компостированный с соломой 6 месяцев; 5 – осадок, компостированный 6 месяцев; 6 – осадок сточных вод молочной промышленности

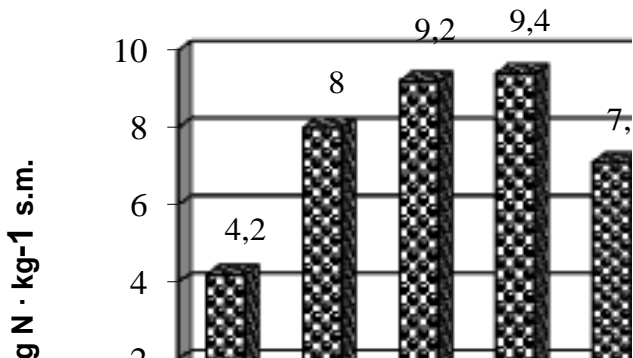


Рис. 8.21. Влияние использования осадков сточных вод на содержание азота в биомассе мальвы энергетической (*Sida hermaphrodita* RUSBY), г/сосуд (Сондей, Намётко, неопубликованные материалы)

Наименьшее значимое различие (NIR)

- 1 – контроль; 2 – свежий стабилизированный осадок; 3 – осадок, компостированный с соломой 1 месяц; 4 – осадок, компостированный с соломой 6 месяцев; 5 – осадок, компостированный 6 месяцев; 6 – осадок сточных вод молочной промышленности

Содержание фосфора в мальве энергетической увеличивалось вследствие использования осадка сточных вод (рис. 8.22). Максимальный рост содержания этого элемента в биомассе мальвы отмечен на объекте, удобренном осадком, компостируемым с соломой в течение 1 месяца. Похожее действие прослеживается после использования стабилизированного осадка и осадка сточных вод молочной промышленности.

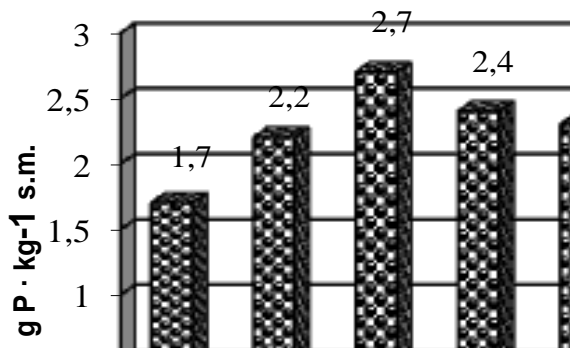


Рис. 8.22. Влияние использования осадков сточных вод на содержание фосфора в биомассе Мальвы энергетической (*Sida hermaphrodita* RUSBY), г/сосуд (Сондей, Намётко, неопубликованные материалы)
Наименьшее значимое различие (NIR)

1 – контроль; 2 – свежий стабилизированный осадок; 3 – осадок, компостируемый с соломой 1 месяц; 4 – осадок, компостируемый с соломой 6 месяцев; 5 – осадок, компостируемый 6 месяцев; 6 – осадок сточных вод молочной промышленности

Уровень калия и магния в мальве на объектах, удобренных осадками сточных вод, был выше по сравнению с контрольным объектом (рис. 8.23, 8.24). Применяемые виды осадков в небольшой степени изменили количество этих элементов. Что касается магния, используемые осадки не всегда оказывали влияние на увеличение содержания этого элемента в растениях, а даже снижали его уровень, что особенно прослеживалось на объектах, где применялся шестимесячный осадок сточных вод и осадок стабилизированный.

Якубус (2006) утверждает, что способ очистки осадков сточных вод дифференцировал их свойства осадков, а также

влияние на урожайность растений. Удобрение осадком сточных вод механико-биологических очистных станций увеличило урожай горчицы, а применение осадка механических очистных станций увеличило урожай люпина, причем химический состав растений был незначительно дифференцирован.

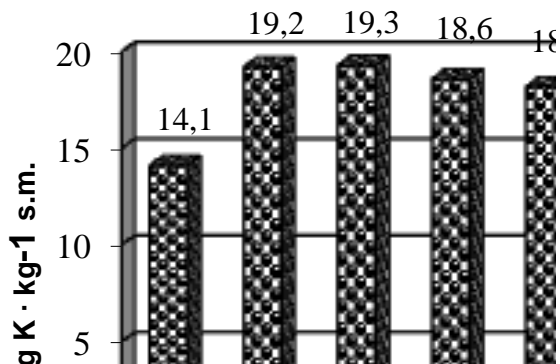


Рис. 8.23. Влияние использования осадков сточных вод на содержание калия в биомассе мальвы энергетической (*Sida hermaphrodita* RUSBY), г/сосуд (Сондей, Намётко, неопубликованные материалы)

Наименьшее значимое различие (NIR)

1 – контроль; 2 – свежий стабилизированный осадок; 3 – осадок, компостированный с соломой 1 месяц; 4 – осадок, компостированный с соломой 6 месяцев; 5 – осадок, компостированный 6 месяцев; 6 – осадок сточных вод молочной промышленности

Дифференцирующим фактором влияния осадков сточных вод на урожайность растений может быть период их использования (например, осень и весна). Более высокая урожайность растений достигается путем применения осадков в осеннем периоде, нежели весеннем. Осадки бытовых сточных вод оказали лучшее влияние на урожайность, чем промышленных ОСВ. Количество азота, использованного для растений из осадков, не превысило 38 %. Удобрение осадками не вызвало роста содержания фосфора в растениях по сравнению с объектами, где применялось удобрение в виде навоза, однако использование этого компонента находилось в пределах от 8,9 до 13,9 % (Гондек, Филипек-Мазур, 2006).

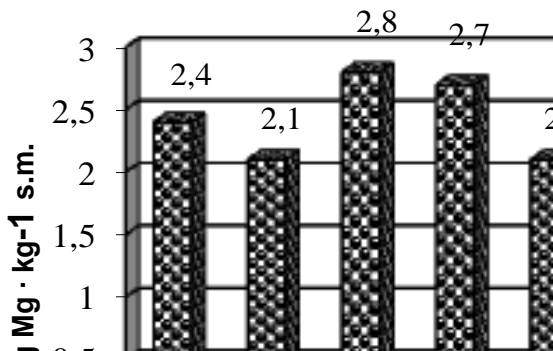


Рис. 8.24. Влияние использования осадков сточных вод на содержание магния в биомассе Мальвы энергетической (*Sida hermaphrodita* RUSBY), г/сосуд (Сондей, Намётко, неопубликованные материалы)

Наименьшее значимое различие (NIR)

1 – контроль; 2 – свежий стабилизированный осадок; 3 – осадок, компостируемый с соломой 1 месяц; 4 – осадок, компостируемый с соломой 6 месяцев; 5 – осадок, компостируемый 6 месяцев; 6 – осадок сточных вод молочной промышленности

8.4.2. Складирование осадков сточных вод

В последние годы складирование осадков сточных вод было наиболее популярным способом обращения с ними. В 2006 г. складировалось около 30 % всего осадка, получаемого из механическо-биологических очистных станций. Причиной такого выхода была не только низкая стоимость, но и недоступность других технологий утилизации осадков. Проблемой являлось также качество осадков ввиду превышения допустимого уровня содержания тяжелых металлов либо несоблюдение санитарно-гигиенических норм, что не позволяло использовать их в сельском хозяйстве (Амброжа-Урбанек, 2008).

Новые условия, в частности Постановление министра экономики и труда относительно критериев и процедур, регламентирующих допуск осадков к складированию, от 7 сентября 2005 г., значительно ограничивают количество складированных ОСВ. Начиная с 2013 г. на складских территориях не могут быть складированы осадки сточных вод, а то, что уже там имеется, должно быть использовано другим способом.

Исключением является осадок, предназначенный для рекультивации складских земель. Складирование осадков заключается не только в депонировании их на складах, а также в складировании их на территориях очистных станций. По закону допускается складирование осадков на территории очистных станций, но не более трех лет от даты производства этих осадков, при условии использования их в других целях. Такие осадки не должны представлять угрозы для здоровья людей, животных и причинять вред окружающей среде (Милюнец, 2005; Амброжа-Урбанек, 2008; Бень, 2010).

Способ распоряжения осадками сточных вод путем складирования регламентируется соответствующими правовыми актами. Для того чтобы можно было складировать ОСВ на неопасных свалках, они должны отвечать определенным требованиям, т. е. не превышать допустимого уровня общего содержания органического угля, потерь при обжиге и удельной теплоты сгорания (табл. 8.16).

Таблица 8.16

Критерии допуска к складированию осадков сточных вод на неопасных свалках (к Постановлению министра экономики от 8 января 2013 г., приложение № 4)

Параметры	Предельная величина
Общее содержание органического угля (ТОС)	5 % сухой массы
Потери при обжиге (LOI)	8 % сухой массы
Удельная теплота сгорания	максимум 6 МДж/кг сухой массы

8.4.3. Термическое обезвреживание

Строгие критерии, связанные с натуральным использованием сточных осадков в целях предохранения от распространения опасных веществ в окружающей среде и биологической опасностью, стали причиной большого интереса, вызванного к другим технологиям утилизации ОСВ. Поэтому кажется, что целевым направлением утилизации отходов бытовых сточных вод очистных станций будут, прежде всего, термические методы, т. е. сжигание, дегазирование и газификация. Переработка осадков сточных вод путем термических преобразований – неизбежный процесс большинства очистных станций (Вейдонг и др., 2010, Вель-

госиньски, 2011, Сърѣда и др., 2012). Эти методы считаются наиболее радикальными способами обезвреживания осадков сточных вод, и кроме того, они являются экологически безопасными и экономически обоснованными. В мировых технологиях процесс сжигания осадков имеет большие шансы для развития, причем решающую роль будут играть возможности использования оборудования, защищающего окружающую среду (Бень и др., 2011; Седлецка 2008).

Кроме того, согласно Постановлению министра экономики от 8 января 2013 г. осадки сточных вод представляют собой биомассу, в процессе сжигания которой производится энергия, относящаяся к обновляемым источникам. Для того чтобы осадок был пригодным для термической обработки, он должен обладать соответствующими химико-физическими свойствами, поскольку содержащиеся в нем загрязнения могут проявляться в процессе термического обезвреживания (Щигел, 2004; Верле и Вильк, 2010).

Осадки сточных вод, предназначенные для термической утилизации, должны соответствующим образом быть подготовлены к этому способу. Процесс, предшествующий данному способу утилизации осадков, – их частичная сушка (для получения 85 % с.м.) или полное высушивание (> 85 % с.м.). Процесс сушки более результативно выводит воду из осадка, чем обезвоживание. В результате применения этого процесса происходит уменьшение массы осадка, сокращаются транспортные расходы, удаляются болезнетворные организмы, упрощается хранение, появляется пригодность к сжиганию и возможность использования осадков в качестве средства, кондиционирующего почву (Сърѣда и др., 2012). Осадок, переработанный таким способом, приобретает лучшие параметры, что упрощает не только его утилизацию термическим путем, но и натуральное использование. После процесса сушки получается гранулят, характеризующийся низким содержанием сухой массы 85–95 % и уменьшенным в четыре раза объемом, что облегчает транспортировку. Вес такого гранулята составляет от 700 до 850 кг/м³. Кроме того, осушенные осадки отличаются значительной санитарной безопасностью, низкой способностью к биоразложению и незначительным неприятным запахом. Возрастает также их тепловая способность, которая со-

ставляет 10–22 кДж/кг с.м. (Крупска, 2004; Щигел, 2004; Фукас-Плонна и Яник, 2007).

Выделяют три способа сушки осадков сточных вод, которые делятся по способу передачи термической энергии от носителя на осадки:

- конвективная сушка, осуществляется при непосредственном контакте осадка с тепловыми носителями (барабанные, флюидные, стеллажные и воздушные установки);

- контактная сушка, осуществляется благодаря теплообмену осадка с тепловой поверхностью данного устройства (тонкослойные, щитовые и трубчатые сушильные установки);

- лучевая сушка, осуществляется с помощью подогрева осадка инфракрасным излучением (солнечные сушилки).

Процессы сушки дорогостоящие, требуют надзора, проводимого квалифицированным персоналом, и больших финансовых затрат (Щигел, 2004; Фукас-Плонна и Яник, 2007). После высушивания осадки готовы к процессу сжигания. Сжигание высушенного осадка может проходить в различных устройствах, таких как флюидальные установки, печи с механическим вращающимся колосником, вращающиеся и стеллажные печи (Вельгосиньски, 2011).

Процесс сжигания осадков сточных вод может осуществляться также путем совместного сжигания. К таким технологиям относятся сжигание вместе с условным топливом (чаще всего с каменным углем) и другими видами топлива, а также с бытовыми отходами. С точки зрения натуральных ресурсов, второй из названных способов обезвреживания осадков кажется особенно обоснованным (Верле, 2011). Для совместного сжигания не требуется специальных технологий. Данный процесс может осуществляться в котлах разного типа, приспособленных для сжигания твердого топлива или биомассы. Кроме того сжигание осадков с углем улучшает процесс сжигания осадков сточных вод, причем это намного дешевле, чем сжигание осадка в специальных котлах. Совместное сжигание – хороший способ утилизации ОСВ, однако следует помнить, что участие осадков в топливе не должно превышать 10 %. Осадки содержат значительную часть загрязнений, которые с газами могут попадать в окружающую среду, поэтому процессы совместного сжигания должны контро-

лироваться, а газы – фильтроваться через специальные вкладки (Щигел, 2004; Седлецка, 2008).

Совместное сжигание – предпочтительный вариант, благодаря низкой себестоимости. Для этой цели используют уже существующие оборудование. Такой метод применяется на практике в странах Западной Европы (Германия, Бельгия, Голландия). Совместное сжигание осадков сточных вод в специальных котлах с каменным углем при соотношении до 1 % м/м не вызывает технических и технологических проблем, не создает угрозы для окружающей среды, связанной с чрезмерной эмиссией загрязнений. В условиях Польши данный метод обращения с отходами имеет будущее при условии, что процесс должен проходить в специальном оборудовании, отвечающем формальным техническим требованиям, т. е. должна быть обеспечена соответствующая температура. Увеличение части осадков в топливной смеси выше 1 % может представлять угрозу превышения эмиссионных стандартов (<http://nowa-energia.com.pl...>).

Процесс совместного сжигания регламентируется Постановлением министра окружающей среды, касающимся эмиссионных стандартов и инсталляций, от 22 апреля 2011 г. Документ регулирует вопросы относительно совместного сжигания безопасных отходов, в частности осадков сточных вод с топливом.

Кроме процессов сжигания, при термическом обезвреживании выделяются другие процессы, такие как газификация. Процесс газификации заключается в термическом преобразовании твердого или жидкого осадка в горючие газы. Этот процесс происходит благодаря термическому разложению осадков при наличии непрерывно контролируемого количества водяного пара и кислорода. Возникающий газ содержит воду, CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , частицы ПАУ и других загрязнений. Этот газ имеет разную удельную теплоту сгорания, которая зависит от количества азота, содержащегося в газе и газифицирующего фактора. Водяной пар в данном случае является лучшим газифицирующим фактором, так как удельная теплота сгорания газа составляет тогда 15–20 MJ/Nm^3 . Процесс газификации осуществляется в специальных устройствах, называемых газификаторами (Бень, 2005 А, Б). Параметры каждого процесса газификации имеют существенное значение. Процесс газификации должен проходить с таким расче-

том, чтобы удельная теплота сгорания газа и его качество были как можно лучше.

Термическое обезвреживание отходов регулируется Постановлением министра экономики от 19 марта 2010 г., регламентирующим условия, которые должны выполняться во время процесса.

Осадки сточных вод с точки зрения топливных свойств близки к другим традиционным видам топлива (табл. 8.17). Они имеют аналогичный тепловой показатель с углем. Содержание золы и серы в осадках сточных вод сравнимо с уровнем показателей этих параметров в угольных отходах. Содержание угля близко содержанию в древесных отходах, а водорода – содержанию этого элемента в каменном угле и древесных отходах.

Что касается калорийности, осадки сточных вод могут составлять половину калорийности угля. Считается, что 1 тонна каменноугольного угля с точки зрения энергии эквивалентна 2 тоннам сухой биомассы, т. е. независимо от того, древесина ли это, солома или органические осадки сточных вод. В масштабе большой очистной станции энергия из осадков сточных вод может достигать до 80 % всей энергии, используемой во время всех технологических процессов (Ковалик, 1996).

Таблица 8.17

Сравнение топливных свойств осадков сточных вод с другими видами топлива

Обозначение	Осадок сточных вод	Угольный шлам	Каменный уголь	Бурый уголь	Древесные отходы
Теплота сгорания, MJ/kg	8÷21,5	8÷16	25÷30	8÷16	13
Пепел, %	30	30÷60	5,3	10÷20	0,8
Уголь, %	50	31	88	66	50,7
Водород, %	6	3,7	6	5	5,9
Сера, %	1,0	1÷1,5	0,8	0,7÷7	0,04

Источник: Речко, 2005.

Термическое обезвреживание осадков сточных вод, произведенных на механико-биологических очистных сооружениях, является обширной темой. Существует много техник обезврежи-

вания осадков, и каждая имеет свои достоинства и недостатки. Выбирая наиболее подходящую технику использования и утилизации ОСВ, следует учитывать угрозу от использования или выброса их в окружающую среду (Вельгосиньски, 2011).

8.5. Основные правовые основы обращения с осадками сточных вод

Наиболее важным, связанным с осадками бытовых сточных вод, является Закон об отходах от 14 декабря 2012 г., согласно которому осадки сточных вод трактуются как отходы. На основании закона, использование осадков сточных вод состоит в их применении:

- в качестве удобрения в сельском хозяйстве;
- для рекультивации деградированных и опустошенных грунтов, а также земель, предназначенных для сельскохозяйственных целей;
- для адаптации грунтов, предназначенных для конкретных целей, связанных с планированием применения отходов;
- для обработки и улучшения роста растений, предназначенных для производства компостов;
- в растениеводстве, не предназначенном для потребления и производства кормов растений.

Осадки сточных вод могут передаваться только от производителя этих осадков владельцу местности, на которой будут использованы. Перед использованием они должны быть подвержены процессу стабилизации, а также другим подготавливающим процессам для разных целей и способов их использования. Предварительно они должны пройти биологический, химический и термический процессы переработки, которые снизят их вредное воздействие на окружающую среду. Кроме того, осадки сточных вод перед их использованием, а также грунты, на которых осадки будут применены в качестве удобрений, должны быть исследованы с помощью тестов и анализов, осуществленных их производителем.

Производитель осадков сточных вод обязан проинформировать владельца грунта, на котором предполагается использовать осадки, о результатах исследований и объеме осадков, которые могут быть применены. Владелец такого грунта освобождает

ются от обязанности получать разрешения, связанные с такого рода деятельностью.

Согласно закону об отходах осадки сточных вод не могут быть использованы:

- на территориях, охраняемых законом и с источниками водоснабжения;
- в полосе грунта на расстоянии 50 м от края озера или водотока;
- на заболоченных или пойменных грунтах, покрытых слоем льда или снега;
- на легких почвах с большой проницаемостью и участках с уровнем грунтовых вод менее 1,5 м глубины;
- на сельскохозяйственных землях со склонами более 10 % и участках с подземной водой;
- на территориях, охваченных другими формами защиты, не приведенными выше;
- на участках, расположенных на расстоянии 100 м от построек, водозаборов или предприятий пищевой промышленности;
- на территориях, где выращивают овощные и садовые растения;
- на участках, где выращивают растения, предназначенные для употребления в пищу, которые в процессе созревания соприкасаются с грунтом;
- на территориях, используемых в качестве пастбищ или лугов, а также на почвах, где выращивают растения под прикрытием.

Данный закон, руководствуясь общими принципами защиты окружающей среды, определяет условия, которые должны выполняться в сельскохозяйственном использовании ОСВ. Он также устанавливает дозы осадков с учетом почв, где они будут применяться, а также определяет частоту и спектр исследований, которые должны проводиться для конкретного вида обезвреживания осадков.

Следующим важным законом для производителей осадков сточных вод является Постановление министра окружающей среды от 13 июля 2010 г., регулирующее обращение с осадками бытовых сточных вод (Вестник законов № 137 / 2010 г., ст. 924). Постановление регламентирует:

- необходимые условия, которые должны быть выполнены при использовании осадков сточных вод;
- допустимые к применению дозы осадков;
- частота и методы исследований, необходимые для применения перед использованием осадков в разных целях.

Самым главным законом последнего периода является Постановление министра экономики и труда от 7 сентября 2005 г., регламентирующее критерии и процедуры допуска отходов к складированию на складах отходов данного типа (Вестник законов № 186, ст. 1553, с поправками).

Постановление определяет требования, каким должны отвечать отходы, пригодные к складированию на складах данного типа, а также критерии, позволяющие складирование на складах опасных, инертных и других отходов.

Данное постановление обязывает прекратить складирование осадков сточных вод, получаемых после обработки на механико-биологических очистных сооружениях, в хранилищах с 1 января 2013 г. Кроме того требует оприходовать осадки, находящиеся в хранилищах, другим способом, исключая складирование. На склады будут отправляться только осадки, отвечающие высоким требованиям, установленным данным постановлением, или предназначенные для рекультивации свалок.

В сельскохозяйственном использовании осадков сточных вод действует также Закон об удобрениях и удабривании от 10 июля 2007 г. (Вестник законов № 147, ст. 1033), который причисляет осадки сточных вод к органическим удобрениям, которые могут быть компостированы и использованы в качестве удобрений грунтов. Такие удобрения могут попасть в оборот только после получения разрешения, определяющего:

- пригодность удобрений для растений, почвы и рекультивации почв;
- отсутствие вредного воздействия на окружающую среду;
- качество, отвечающее всем требованиям;
- содержание допустимого количества загрязнений.

Кроме того, Закон регламентирует дозу осадков сточных вод или компостов, произведенных на основе ОСВ, по уровню содержания азота. Разрешается вносить в почву не более 170 кг N /га в течение года.

8.6. Перспективы развития экономики утилизации осадков в Польше

При выборе способа управления ОСВ решающую роль играют экономические, технологические, общественные условия и инвестиционные капиталовложения. Кроме вышеупомянутых условий, существует законодательство ЕС, которого Польша должна придерживаться после вступления в Евросоюз. До сих пор наиболее распространенным способом обезвреживания осадков было складирование. Согласно Постановлению министра экономики и труда от 7 сентября 2005 г. установлен срок, в течение которого следует прекратить складирование осадков. Данные обстоятельства способствовали выбору новых направлений в переработке осадков и модификации существующего технического оборудования, отвечающего всем юридическим требованиям. В настоящее время в Польше предпочитают способы обезвреживания и использования осадков сточных вод, не предполагающие хранения ОСВ на складах (Громец и Коч, 2009; Паёнк, 2009).

Согласно прогнозам в 2015 г. количество произведенного осадка может составить 642,4 тыс. Мг/год. Следовательно, должно быть оприходовано значительное количество осадков сточных вод. В связи с этим важной задачей становится создание новых технологий обезвреживания осадков. Польская экономика утилизации осадков поставила перед собой цель увеличить объем ОСВ, переработанных и внесенных в окружающую среду, а также ОСВ, прошедших термическую обработку (Волчыньски и др., 2007; Бень и др., 2009; Громец и Коч, 2009).

Перспективы обезвреживания осадков на 2018 г. представлены на рисунке 8.25. Предполагается, что в 2018 г. большинство осадков сточных вод будет переработано с помощью термических методов. Данные планы возможны к осуществлению, поскольку появляются улучшенные технологии, позволяющие осуществлять такое обезвреживание, к тому же термические методы на данный момент наиболее эффективны при обезвреживании и нейтрализации осадков. В ближайшие годы ожидается усиленное развитие процессов компостирования, благодаря которым из осадков можно получить идеальный материал для удобрения грунтов при условии выполнения всех норм. Такой компост пригоден для разведения энергетических растений, спрос на которые

быстро увеличивается. В будущем биомасса будет иметь большое значение для энергетического рынка, поэтому потребность в компостировании станет расти. Использование осадка в целях рекультивации грунтов упадет примерно до 10 %. Складирование осадков сточных вод не учтено, поскольку такая форма утилизации не предполагается.

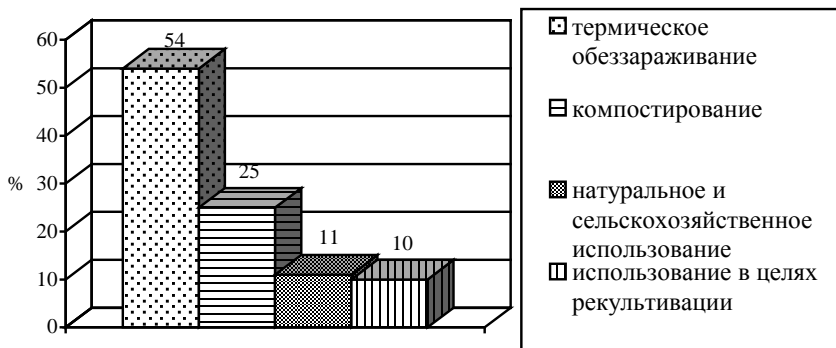


Рис. 8.25. Перспективы обезвреживания осадка сточных вод в 2018 г. (Государственный план экономики обращения с отходами, 2010)

В настоящее время во многих значительных регионах очень важно развитие новых технологий и строительство современных предприятий, занимающихся термической переработкой ОСВ. Сжигание и совместное сжигание осадков выгодно, поскольку имеется возможность получения финансовой поддержки со стороны правительства, а также использование энергии, содержащейся в осадке. Появляется необходимость финансирования исследований, связанных с созданием новых техник обезвреживания осадков и обращения с ними.

В ближайшие годы значительное внимание будет уделяться вопросам по защите окружающей среды, следовательно, обезвреживанию и переработке ОСВ способами, представляющими минимальную угрозу окружающей среде и дающими возможность максимального их использования (Бень и др., 2009; Громец и Коч, 2009; Верле, 2011).

Литература

AMBROŹA-URBANЕК В. 2008. *Składowanie osadów-odkładanie problemów*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 11–12: 48–49.

- BANEGAS V., MORENO J.L., MORENO J.I., GARCÍA C., LEÓN G., HERNÁNDEZ T. 2007. *Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust*. Waste Management, 27: 1317–1327.
- BANERJEE M.R., BURTON D.L., DEPOE S. 1997. *Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 66: 241–249.
- BARAN S., DOMŻAŁ H., SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ A., KWIECIEŃ J., PRANAGAL J. 1996. *Wpływ osadu ściekowego na wodno-powietrzne właściwości gleby piaszczystej*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 437: 51–60.
- BERNACKA J., PAWŁOWSKA L. 2000. *Substancje potencjalnie toksyczne w osadach z komunalnych oczyszczalni ścieków*. Instytut Ochrony Środowiska. Monografia. Warszawa: 123.
- BEZAK-MAZUR E., MAZUR A. 2005. *Wpływ warunków prowadzenia defosfatacji na specjację fosforu w osadach ściekowych*. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej, 22: 133–142.
- BIEŃ J. 2005a. *Zgazowanie osadów ściekowych. Cz. I. Czysta energia*, (4): 30–31.
- BIEŃ J. 2005b. *Zgazowanie osadów ściekowych. Cz. II. Czysta energia*, (5): 28–29.
- BIEŃ J. 2010. *Historia i rozwój gospodarki osadowej w Polsce*. Przegląd komunalny, 12 (231): 65–69.
- BIEŃ J., NECZAJ E., WARWĄG M., GROSSER A., NOWAK D., MILCZAREK M., JANIK M. 2011. *Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013*. Inżynieria i Ochrona Środowiska, 14(4): 375–384.
- BIEŃ J., WESTALSKA K., WORWĄG M. 2009. *Przeróbka osadów ściekowych – perspektywy rozwoju*. Przegląd Komunalny, 9 (67): 26–27.
- BIEŃ J. 2002. *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, s.15–33, 243–260, 288–290.
- BODZEK D., JANOSZKA B. 1999. *Comparison of polycyclic aromatic compounds and heavy metals contents in sewage sludges from industrialized and non-industrialized region*. Water, Air and Soil Pollution, 111: 359–369.
- BODZEK D., JANOSZKA B., DOBOSZ C., WARZECHA L., BODZEK M. 1997. *Determination of polycyclic aromatic compounds and heavy metals in sludges from biological sewage treatment plants*. Journal of Chromatography A, 774: 177–192.
- BOJANOWSKA I. 2010. *Przeróbka osadów ściekowych*. Zakład Inżynierii Środowiska. <http://www.chem.ug.edu.pl/~bojirka/POS.pdf>.
- BORKOWSKA H., JACKOWSKA I., PIOTROWSKI J., STYK B. 1996. *Wstępna ocena przydatności kilku gatunków roślin wieloletnich do rekultywacji*

- osadów pościekowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 434: 927–930.
- BORKOWSKA H., JACKOWSKA I., PIOTROWSKI J., STYK B. 2001. *Suitability of cultivation of some perennial plant species on sewage sludge*. Polish Journal of Environmental Studies, 10(5): 379–381.
- BORKOWSKA H., STYK B. 2002. *Ślázowiec pensylwański jako wieloletni przedplon dla niektórych gatunków roślin uprawianych na osadzie pościekowym*. Annales UMCS, Sectio E. Agriculture, 70: 49–54.
- BORUSZKO D. 2001. *Przeróbka i unieszkodliwianie osadów ściekowych*. Politechnika Białostocka, 5–7: 13–59.
- BOWSZYS T., WIERZBOWSKA J., SADEJ W. 2007. *Content of Lead, Cadmium and Nickel in Soil Fertilized with Sewage Sludge and Municipal Waste Compost*. Polish Journal of Environmental Studies, 16(2A), Part III: 763–769.
- CIEĆKO Z., HARNISZ M., WYSZKOWSKI M., NAJMOWICZ T. 2003. *Zmiany zawartości magnezu w osadach ściekowych podczas ich kompostowania z dodatkiem różnych substancji*. Inżynieria Ekologiczna, 9: 95–101.
- CIEĆKO Z., HARNISZ M., WYSZKOWSKI M., NAJMOWICZ T. 2004. *Dynamika zawartości wapnia w osadach ściekowych podczas ich kompostowania z różnymi dodatkami*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 499: 31–38.
- CIEĆKO Z., HARNISZ M., WYSZKOWSKI M., NAJMOWICZ T. 2005. *Dynamics of potassium content in sewage sludges during their composting with different additives*. Polish Journal of Soil Science, 38(1): 31–40.
- CIEĆKO Z., WYSZKOWSKI M., ROLKA E. 2001a. *Charakterystyka chemiczna osadów ściekowych z oczyszczalni mleczarskich*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 477: 313–318.
- CIEĆKO Z., WYSZKOWSKI M., ROLKA E., HARNISZ M. 2001b. *Анализ содержания питательных элементов в отстоях коммунальных сточных вод. В: „Актуальные проблемы агрохимии в современных условиях”* (red. WILDFŁUSZ I.R.), 2: 180–182.
- CZEKAŁA J. 1999. *Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych*. Folia Universitatis Agriculture Stetinensis, Agricultura, 77: 57–62.
- CZEKAŁA J. 2002. *Wybrane właściwości osadów ściekowych z oczyszczalni regionu Wielkopolski. Cz. I. Odczyn, sucha masa, materia i węgiel organiczny oraz makroskładniki*. Acta Agrophisica, 70: 75–82.
- CZEKAŁA J. 2009. *Osady ściekowe – nawóz czy odpad?* Przegląd Komunalny, 1(59): 30–35.
- CZEKAŁA J., CZEKAŁA W. 2012. *Skład chemiczny kompostów wytworzonych na bazie komunalnych osadów ściekowych, słomy i trocin*. Inżynieria Środowiska, 26: 71–80.

- DACH J. 2009. *Kompostowanie osadów ściekowych a emisje gazowe i odorowe*. Przegląd Komunalny, 2 (209): 35–48.
- DEMIDOWICZ M., STAROŃ M., DORAU S. 2006. *Metody przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych na przykładzie oczyszczalni w Międzyrzeczu*. EkoTechnika, 1(37): 46–49.
- FERNÁNDEZ J.M., HOCKADAY W.C., PLAZA C., POLO A., HATCHER P.G. 2008. *Effects of long-term soil amendment with sewage sludges on soil humic acid thermal and molecular properties*. Chemosphere, 73: 1838–1844.
- FRĄC M. 2012. *Ocena mikologiczna osadu z oczyszczalni ścieków mleczarskich oraz jego wpływ na różnorodność funkcjonalną mikroorganizmów glebowych*. Acta Agrophisica, Monograph., 1: 1–142.
- FUKAS-PŁONNA Ł., JANIK M. 2007. *Plusy i minusy suszenia osadów ściekowych*. Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków: 1–7.
- GONDEK K., FILIPEK-MAZUR B. 2006. *Ocena efektywności nawożenia osadami ściekowymi na podstawie plonowania roślin i wykorzystania składników pokarmowych*. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 5(1): 39–50.
- GOŚCIŃSKI J. 2007. *Rodzaje kompostowni*. Przegląd Komunalny, 8 (191): 52–54.
- GREINERT A., DRAB M., WĘCLEWSKI S. 2009. *Ryzyko chemicznego zanieczyszczenia gleb nawożonych osadami ściekowymi*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 537: 135–144.
- GROMIEC J., KOĆ J. 2009. *Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych po 2013 r.* Wodociągi - Kanalizacja, 9 (67): 24–25.
- GRZYWNOWICZ I., STRUTYŃSKI J. 1999. *Zmiany niektórych właściwości chemicznych gleby po zastosowaniu osadów ściekowych do celów nawozowych*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 437: 13–22.
- GUS, 2012, 2013. *Ochrona Środowiska*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa: 203, 204.
- HARRISON E.Z., OAKES S.R., HYSELL M., HAY A. 2006. *Organic chemicals in sewage sludges*. Science of the Total Environment, 367: 481–497.
- HEINRICH Z. 2010. *Kierunki przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych*. Praca zbiorowa. Wyd. Seidel-Przywecki sp. z o.o.: 7–8, 135–143.
- IGNATOWICZ K., GARLICKA K., BREŃKO T. 2011. *Wpływ kompostowania osadów ściekowych na zawartość wybranych metali i ich frakcji*. Inżynieria Ekologiczna, 25: 231–241.
- IRANZO M., CAÑIZARES J.V., ROCA-PEREZ L., SAINZ-PARDO I., MORMENEO S., BOLUDA R. 2004. *Characteristics of rice straw and sewage sludge as*

- composting materials in Valencia (Spain)*. Bioresource Technology, 95: 107–112.
- JACKOWSKA I., OLEKSIEJUK A. 2004. *Ocena przydatności osadów ściekowych z Oczyszczalni Ścieków w Lubartowie do rolniczego wykorzystania*. Annales UMCS, Sec. E, 59(2): 1001–1006.
- JADCZYSZYN T., STACHYRA A., 2005. *Ocena jakości kompostowanych osadów ściekowych i organicznych odpadów komunalnych dopuszczonych do obrotu jako nawozy organiczne*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 505: 145–151.
- JAKUBUS M. 2006. *Ocena przydatności osadów ściekowych w nawożeniu roślin*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, T. 6, Z. 2(18): 87–97.
- JANOSZ-RAJCZYK M. 2004. *Komunalne osady ściekowe - podział, kierunki zastosowań oraz technologie przetwarzania, odzysku i unieszkodliwiania*. Instytut Inżynierii Środowiska, Częstochowa: 34–47.
- JEZIERSKA-TYS S., FRĄC M., TYS J. 2010. *Microbiological hazards resulting from application of dairy sewage sludge: effects on occurrence of pathogenic microorganisms in soil*. Journal of Toxicology and Environmental Health, A, 73: 1230–1235.
- JĘDRCZAK A., HAZIAK K. 2005. *Określenie wymagań dla kompostów i innych metod biologicznego przetwarzania odpadów*. Pracownie Badawczo-Projektowe „EKOSYSTEM” Spółka z o.o. w Zielonej Górze: 1–21.
- KACPRZAK M., NECZAJ E., OKONIEWSKA E. 2005. *The comparative mycological analysis of wastewater and sewage sludges from selected wastewater treatment plants*. Desalination, 185: 363–370.
- KALEMBASA D., PAKUŁA K., RZYMOWSKI D. 2009. *Oddziaływanie osadu ściekowego na zawartość wybranych pierwiastków i właściwości gleby płowej*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 535: 201–208.
- KARCZ H., KANTOREK M., FOLGA K., BUTMANKIEWICZ T., KOZAKIEWICZ A., MACIEJAK D. 2007. *Osady ściekowe alternatywnym paliwem dla kotłów energetycznych*. Archives of Waste Management. Vol. 6: 23–32.
- KŁAPEĆ T., CHOLEWA A. 2012. *Zagrożenia dla zdrowia związane ze stosowaniem nawozów organicznych i organiczno-mineralnych*. Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu, 18(2): 131–36.
- KOWALIK P. 1996. *Możliwości energetycznego wykorzystania osadów ściekowych przez ich granulację ze słomą i współspalanie z węglem*. Mat. Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Wykorzystanie osadów ściekowych - techniczne i prawne uwarunkowania, Częstochowa.
- KOWALSKI Z., PRZEWROCKI P., KULCZYCKA J. 2004. *Możliwości ograniczenia wpływu osadów z oczyszczalni ścieków komunalnych na środowisko naturalne*. EkoTechnika, 3 (31): 17–22.

- KOZAK M., KOTECKI A., DOBRZANSKI Z. 2006. The *Miscanthus giganteus* response to chemical contamination of soil. *Chemistry and Biochemistry in the Agricultural Production and Environment Protection*, 7: 520–524.
- KRAJOWY PLAN GOSPODARKI ODPADAMI 2014. Projekt z dnia 30 lipca 2010 r. Warszawa, 2010: 48.
- KROGSTAD T., SOGN TRINE A., ASMUND A., SÆBØ A. 2005. *Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorous in soil*. *Ecological Engineering*, 25: 51–60.
- KRUPSKA A. 2004. *Suszenie osadów w instalacjach o niskim zużyciu energii*. *EkoTechnika*, 3 (31): 23–24.
- KRZYWY E. 2000. *Wartość nawozowa komunalnych osadów ściekowych*. *Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej*. Oddział Szczeciński: 62 ss.
- KRZYWY E., WOŁOSZYK C., IŻEWSKA A., KRZYWY-GAWROŃSKA E. 2008. *Ocena składu chemicznego i wartości nawozowej komunalnych osadów ściekowych i kompostów z ich udziałem*. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 533: 239–247.
- KUCHARCZAK K., STĘPIEŃ W., GWOREK B. 2010. *Kompostowanie odpadów komunalnych jako metoda odzysku substancji organicznej*. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 42: 240–255.
- KUCHARSKI J., WYSZKOWSKA J., NOWAK G., HARMS H. 2000. *Activity of enzymes in soils treated with sewage sludges*. *Polish Journal of Soil Science*, 33(1): 29–36.
- KULIGOWSKA-ROSZAK J. 2010. *Osady ściekowe odpadem (nie)bezpiecznym*. *Przegląd Komunalny*, 9: 44–45.
- LISOWSKI J., PORWISIAK H. 2010. *Wpływ nawożenia osadami na plon miskanta (*Miscanthus giganteus*)*. *Fragmenta Agronomica*, 27(4): 94–101.
- LOC N.T.B. 2002. *Charakterystyka mikrobiologiczna i możliwość wykorzystania osadów ściekowych do produkcji kompostu z oczyszczalni ścieków dla miasta Zielona Góra*. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 484: 401–408.
- MAĆKOWIAK CZ. 2000. *Wykorzystanie w rolnictwie produktów odpadowych o znaczeniu nawozowym*. *Nawozy i Nawożenie*, 3a: 131–149.
- MALEJ J. 2000. *Właściwości osadów ściekowych oraz wybrane sposoby ich unieszkodliwiania i utylizacji*. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 2: 69–101.
- MERRINGTON G., OLIVER I., SMERNIK R.J., MC LAUGHLIN M.J. 2003. *The influence of sewage sludge properties on sludge – borne metal availability*. *Advances in Environmental Research*, 8: 21–36.
- MILUNIEC R. 2005. *Zasady i warunki produkcji oraz wykorzystania osadów ściekowych*. *EkoTechnika*, 1 (33): 38–42.
- MORENO J.L., HERNÁNDEZ T., PÉREZ A., GARCÍA C. 2002. *Toxicity of cadmium to soil microbial activity: effect of sewage sludge addition to soil on the ecological dose*. *Applied Soil Ecology*, 21(2): 149–158.

- NAGAR R., SARKAR D., DATTA R. 2006. *Effect of sewage sludge addition on soil quality in terms of metal concentrations*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 76: 823–830.
- NOWAK M., KACPRZAK M., GROBELAK A. 2010. Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji terenów skażonych metalami ciężkimi. Inżynieria i Ochrona Środowiska, 13(2): 121–131.
- OCEPA A., BIEN J., KACPRZAK M. 2008. *Wpływ zróżnicowanego nawożenia gleb na wysokość plonów miskanta olbrzymiego i ślazuwca pensylwańskiego*. Inżynieria i Ochrona środowiska, 11: 255–260.
- OCEPA-KUBICKA A., PACHURA P. 2013. *Wykorzystanie osadów ściekowych i kompostu w nawożeniu roślin energetycznych na przykładzie miskanta i ślazuwca*. Annual Set The Environment Protection, 15: 2267–2278.
- OKAMOTO T. 2004. *Studies on the agricultural use of limed-sewage sludge: Changes in forms and behavior of some heavy metals as affected by soil pH with long-term application of the sludge*. Bulletin of the Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture, 146: 1–73.
- OKREŚLENIE KRYTERIÓW STOSOWANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH poza rolnictwem 2004. Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska: 9–10.
- OLESZCZUK P. 2006. *Persistence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge-amended soil*. Chemosphere, 65: 1616–1626.
- OLESZCZUK P. 2007. *Zanieczyszczenia organiczne w glebach użyźnianych osadami ściekowymi. Część. I. Przegląd badań*. Ecological Chemistry and Engineering, 14(81): 65–76.
- OLESZCZUK P. 2008. *The toxicity of composts from sewage sludges evaluated by the direct contact tests phytotoxkit and ostracodtoxkit*. Waste Management, 28: 1645–1653.
- OLESZCZUK P., HOLLERT H. 2011. *Comparison of sewage sludge toxicity to plants and invertebrates in three different soils*. Chemosphere, 83: 502–509.
- PAJĄK T. 2009. *Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych w Polsce*. Wodociągi - Kanalizacja, 9 (67): 32–33.
- PAUL E.A., CLARK F.E. 2000. *Mikrobiologia i biochemia gleb*. Wyd. UMCS, Lublin.
- QUAN-YING CAI, CE-HUI MOB, QI-TANG WU, QIAO-YUN ZENGA, ATHANASIOS KATSOYIANNIS 2007. *Changes of chemical and biological properties during composting sewage sludge by using forced aerated static pile model*. Journal of Hazardous Materials, 147: 1063–1072.
- RAJMUND A., BOŻYM M. 2013. *Ocena zawartości metali ciężkich w wiejskich osadach ściekowych i kompostach w aspekcie ich przyrodniczego wykorzystania*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 13, Z. 4(44): 103–113.

- RAO C.R.M., SAHUQUILLO A., LOPEZ SANCHEZ F. 2008. *A review of the different methods applied in environmental geochemistry for single and sequential extraction of trace elements in soils and related materials*. Water, Air and Soil Pollution, 189: 291–333.
- REČKO K. 2005. *Termiczna utylizacja osadów ściekowych*. Archives of Waste Management, 2: 17–24.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI I PRACY z 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. Dziennik Ustaw, Nr 186, Poz. 1553 (z późn. zm.).
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI z dnia 19 marca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcenia odpadów. Dziennik Ustaw, Nr 61, Poz. 380.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. Dziennik Ustaw, Nr 0, poz. 38.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dziennik Ustaw, Nr 137, Nr 0, Poz. 924.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji. Dziennik Ustaw, Nr 95, Poz. 558.
- SĄDEJ W. 2009. (red). *Sewages and waste materials in environment*. Monograph edited by Wiera Sądej: 172 pp. ISBN 978-83-929462-1-2.
- SĄDEJ W., BOWSZYS T., NAMIOTKO A. 2009. *Leaching of Nitrogen Forms in Soil Fertilized with Sewage Sludge*. Ecological Chemistry and Engineering, 16(8): 1001–1008.
- SĄDEJ W., BOWSZYS T., WIERZBOWSKA J. 2007. *Kształtowanie właściwości fizykochemicznych gleby płowej nawożonej osadami ściekowymi*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 520: 363–369.
- SIEDLECKA A. 2008. *Termiczna utylizacja osadów w oczyszczalni „Czajka”*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 9–10: 78–79.
- SINGH R.P., M. AGRAWAL M. 2008. *Potential benefits and risks of land application of sewage sludge*. Waste Management, 28: 347–358.
- SIUTA J. 2001. *Gospodarka odpadami w środowisku*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 477: 275–285.
- SIUTA J. 2003. *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych*. Inżynieria Ekologiczna, 9: 7–42.
- SIUTA J. 2005. *Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowiskach odpadów przemysłowych*. Acta Agrophysica, 5(2): 417–425.

- SIUTA J. 2002, *Przyrodnicze użytkowanie odpadów*. Wyd. Naukowe Gabriel Borowski, Warszawa, s. 9–12, 48–75.
- SONG U., LEE E.J. 2010. *Environmental and economical assessment of sewage sludge compost application on soil and plants in a landfill*. Resources, Conservation and Recycling, 54(12): 1109–1116.
- STEPHEN R., SMITH A. 2009. *A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge*. Environment International, 35: 14–156.
- SUHADOLC M., SCHROLL R., HAGN A., DÖRFLER U., SCHLOTTER M., LOBNIK F. 2010. *Single application of sewage sludge – Impact on the quality of an alluvial agricultural soil*. Chemosphere, 81: 1536–1543.
- SULEWSKA H., KOZIARA W. 2007. *Produkcja osadów ściekowych w Polsce i efekty ich stosowania w uprawie kukurydzy*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 518: 175–183.
- SZCZYGIEL J. 2004. *Energia z osadów ściekowych*. Czysta energia, 11: 34–35.
- SZWEDZIAK K. 2006. *Charakterystyka osadów ściekowych i rolnicze wykorzystanie*. Inżynieria Rolnicza, 4: 297–302.
- ŚLIZOWSKI R. 2002. *Osady ściekowe, ich stabilizacja i wykorzystanie w rolnictwie*. Inżynieria Rolnicza, 3: 151–162.
- ŚRODA K., KJO-KLECZKOWSKA A., OTWINOWSKI H. 2012. *Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych*. Inżynieria Ekologiczna, 28: 67–81.
- THI BICH LOC N. 2000. *Liczebność niektórych grup drobnoustrojów w surowym osadzie i po jego kompostowaniu*. Folia Universitatis Agriculture Stetinensis, Agricultura, 211(84): 355–340.
- THI BICH LOC N., PIONTEK M. 2000. *Stan ilościowy niektórych bakterii i grzybów w osadach ściekowych*. Folia Universitatis Agriculture Stetinensis, Agricultura, 211(84): 341–346.
- USTAWA O NAWOZACH I NAWOŻENIU z dnia 10 lipca 2007 r. Dziennik Ustaw, Nr 147, Poz. 1033 oraz z 2011 r. Nr 106, Poz. 622 i Nr 171, Poz. 1016.
- USTAWA O ODPADACH z 14 grudnia 2012 r. Dziennik Ustaw, 2013, Nr 0, Poz. 21)
- WANG X., TAO C., YINGHUA G., YONGFENG J. 2008. *Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors*. Journal of Hazardous Materials, (160): 554–558.
- WARDZIŃSKA K. 2000. *Plonowanie i pobieranie metali ciężkich przez ślázowca pensylwańskiego w warunkach upraw na glebie mineralnej i osadzie pościekowym*. Annales UMCS, Sectio E. Agriculture, 55: 75–88.
- WEIDONG LI, WEIFENG LI, HAIFENG LIU. 2010. *Effects of sewage sludge on rheological characteristics of coal-water slurry*. Fuel, 89: 2505–2510.
- WERLE S. 2011. *Wielowariantowa analiza możliwości współspalania osadów ściekowych w kotłach energetycznych opalanych węglem*. Archives of Waste Management, 13(1): 21–38.

- WERLE S., WILK R. 2009. *Energetyczne wykorzystanie osadów ściekowych*. Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Instytut Techniki Ciepłej: 339–346.
- WIELGOSIŃSKI G. 2011. *Pułapki i zagrożenia w termicznym unieszkodliwianiu osadów ściekowych*. *Wodociągi - Kanalizacja*, 1(83): 26–28.
- WILK M., GWOREK B. 2009. *Metale ciężkie w osadach ściekowych*. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 39: 40–59.
- WOLCZYŃSKI M., WIŚNIEWSKA E., JANOSZ-RAJCZYK M. 2007. *Perspektywy wykorzystania produktów hydrolizy osadów ściekowych*. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 1: 29–39.
- WU L., CHENG M., LI Z., REN J., SHEN L., WANG S., LUO Y., CHRISTIE P. 2012. *Major nutrients, heavy metals and PBDEs in soils after long-term sewage sludge application*. *Journal of Soils Sediments*, 12: 531–541.
- WYSZKOWSKA J., KUCHARSKI J., JASTRZĘBSKA E. 2004. *Liczebność droboustrojów w glebie zanieczyszczonej osadami ściekowymi*. *Acta Agraria et Silvestria, Ser. Agraria*, 42: 477–485.
- ZALĄCZNIK nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. *Dziennik Ustaw*, 2013, Nr 0, Poz. 38.
- ZAMAN M., MATSUSHIMA M., CHANG S.X., INUBUSHI K., NGUYEN L., GOTO S., KANEKO F., YONEYAMA T. 2004. *Nitrogen mineralization, N₂O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts*. *Biology and Fertility of Soils*, 40: 101–109.
- ŻURAWSKI H., TRYBAŁA M., HRYŃCZUK B. 1997. *Wpływ nawożenia osadem z oczyszczalni ścieków komunalnych na środowisko glebowe i wodne*. *Roczniki AR w Poznaniu CCXCIV*, 19 (2): 309–317.
- Интернет-ресурсы
www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/se_ochrona_srodowiska_2012.pdf.
nowa-energia.com.pl/2009/06/23/wspolspalanie-komunalnych-osadow-sciekowych-z-weglem/.
stat.gov.pl - bank danych regionalnych GUS.

Глава 9. ПРОИЗВОДСТВО ЛУГОВ И ПАСТБИЩ В СЕРБИИ

9.1. Определение лугов и их значение

Газоны – поверхность земли, покрытая различными видами растений, которые используются для производства кормов, а также являются неотъемлемой частью парков, спортивных площадок, декоративных садов и т. д. Газоны состоят из большего или меньшего числа растений разных морфологических, биологических и производственных особенностей. Растения по продолжительности жизни одно-, двух- и многолетние. Использование газонов для кормления скота может происходить непосредственно и косвенно. При непосредственной эксплуатации осуществляется выпас, а при косвенной – скашивание трав и заготовка консервированных кормов для скота в виде сена, сенажа, силоса, травяной муки. В зависимости от способа эксплуатации (выпас или скашивание) газоны делятся на луга и пастбища.

Газоны могут быть очень продуктивны, когда речь идет о производстве кормов. Согласно некоторым исследованиям можно получить доход от 25 т/га сухого вещества при соответствующем внесении удобрений и орошении. Сегодня в мире потребность крупного рогатого скота в элементах питания соответствует объему кормов, полученных на газонах.

Производительность газонов и их использование находятся под влиянием двух важных групп факторов: экологически чистые условия и социально-экономическая ситуация в обществе. Экологические факторы (климат, погода, почва, рельеф) определяют состав газонов и его производительность, а социально-экономические условия (экономическая ситуация, уровень развития государства, правовое регулирование в сельском хозяйстве и др.).

Статистические данные показывают, что 55 % газонов в мире подвергаются влиянию засухи и поэтому приносят очень низкие доходы. Предполагается, что одна пятая их часть повреждена действиями человека. Из-за слабого ухода за ними в Сербии на естественных газонах получают низкие урожаи сена (в среднем на лугах 1,77, пастбищах 0,46 т/га). Корм имеет низкое качество из-за негативного воздействия сорняков и менее ценных растений в составе травостоя. Выращивание газонов улучшает

сохранение земельных и водных ресурсов. Культуры, которые выращивают в севообороте после газонов, дают более высокую прибыль. Газоны участвуют в росте плодородия, повышают производительную силу земли для будущего использования.

Газоны могут служить ценным источником хлорофилла, который используется в пищевой промышленности и индустрии красоты. С гектара можно получить от 13,83 до 20,09 кг хлорофилла [22].

Сегодня в мире газоны используются для самых разнообразных целей. Они имеют большое значение для защиты почвы от эрозии, повышают химические и физические свойства почвы, оставляют значительную часть органических веществ. Газоны представляют собой важный фактор в создании благоприятных условий для окружающей среды. Парки и садовые участки оказывают значительное влияние на биологию городской среды. Во всем мире они важны для отдыха, охоты и рыбалки, а также других культурных мероприятий. Экономическое значение туристической деятельности на газонах может быть очень высоким (например, сафари, охота в национальных парках и др.). Сегодня на планете существует 667 особо охраняемых природных территорий, из которых, по крайней мере, 50 % – газоны.

Сегодня газоны продолжают выполнять важные экологические функции и участвуют в природных циклах: воды, минералов, движения растительности и животных, питательных веществ. Они помогают очистке загрязненного воздуха и переносу кислорода, поглощают значительное количество углекислого газа.

В мире под травами находится значительная часть площадей сельскохозяйственных угодий. Серьезные различия существуют между отдельными континентами и даже странами в рамках одной и той же географической области и отдельными регионами в той же стране.

Данные, представленные International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), указывают, что 13,8 % от общей площади материка (за исключением Гренландии и Антарктиды) принадлежит лесным саваннам и газонам; 12,7 % занято кустарниками и газонами; 8,3 % составляют газоны без деревьев и 5,7 % – тундра. По данным Мијатовића [35], газоны в мире составляют 67 % от общего объема пахотных земель. По последним данным, площади,

находящиеся под газонами, сокращаются. Все больше снижается их способность поддерживать жизнь растений, животных и людей. Газоны сегодня покрывают 40 % поверхности земли. Сельское хозяйство и строительство, машиностроение, значительно повлияли на уменьшение их площади.

В 2003 г. в Сербии площади под лугами составили в сумме 666 158 га при средней урожайности 1768 кг/га сена, под пастбищами остаются 1 001 741 га при средней урожайности 460 кг/га. Сегодня газоны в Сербии, по статистическим данным, расположены на площади около 200 000 га.

9.2. Агрэкологические и агротехнические аспекты выращивания газонов

Климатические условия Сербии существенно влияют на распространение травяных растений и во многом определяют продуктивность лугов и качество кормов. Климат своим действием способствует формированию определенных типов газонов, например, климатогенных газонов.

Климат – сложный экологический фактор. Его основные компоненты: свет, тепло, вода-влага и воздух.

Свет как фактор производства газонов. Свет является одним из климатических биофакторов, необходимых для нормального развития, формирования и жизни всех видов агробиоценозов. Он служит растениям в качестве источника энергии, и почти все физиологические процессы происходят под влиянием света. Урожайность и качество кормовых растений в значительной степени зависят от количества и качества света. Экологический эффект от действия солнечного света на растения обусловлен его составом, интенсивностью и продолжительностью освещения.

Состав и качество солнечного света зависит от спектра солнечных лучей различных длин волн. Лучи коротких длин волн отрицательно действуют на растения, в то время как длинноволновые лучи полезны. Лучи средних длин волн (зеленый, желтый и красный) наиболее важны для питания растений при ассимиляции углекислого газа. Для растений наиболее важны лучи видимой части солнечного спектра (фиолетовый, синий, зеленый, желтый, красный). Интенсивность солнечного света может быть изменена в горизонтальном и вертикальном направлении. Интен-

сивностью солнечного освещения можно регулировать размер вегетационного периода. Интенсивность солнцезащитного света можно регулировать и способами выращивания травянистых растений (широкорядный и рядовой посев и др.). Травы, травяно-бобовые смеси и некоторые другие кормовые растения при недостатке света снижают количество и качество урожайности.

Когда речь идет о травяных видах растений, можно сказать, что большинство этих растений имеет выраженную потребность в свете. В рамках семейства злаковых (Poaceae) есть виды, которые не могут произрастать при отсутствии света. Тень в Швейцарии уменьшает урожайность газонов от 21 до 45 %, в Германии около 1/3 [35]. Газоны, выращенные в тени, имеют более слабую питательную ценность по сравнению с выращенными при достаточном освещении. Недостаток света действует угнетающе на содержание кальция, сахара и минеральных веществ у растений. Очень сильная интенсивность освещения вызывает уменьшение количества сырого белка и сырой клетчатки, но увеличивает долю свободных сахаров. Согласно исследованиям, проведенным в США, растения, культивируемые в тени, имеют значительно большую долю целлюлозы, меньше белка и хуже вкус кормов по сравнению с растениями, выращенными при достаточном солнечном освещении [21].

Реакция растений на изменения длины дневного освещения называется фотопериодизмом. Все травяные растения можно разделить на 3 группы, учитывая продолжительность дня: короткодневные, длиннодневные и нейтральные.

Краткодневные травяные растения (освещение 14 часов и менее) – это кукуруза, соя, сорго, просо, сирийский просо, подсолнечник и др.

Длиннодневные травяные растения (освещение больше 14 часов) – все виды клевера. Растение длинного дня требует для обильно цветущих продолжительности 16 часов, что является предпосылкой высокой урожайности семян.

Нейтральные травяные растения (репродуктивное развитие получают независимо от продолжительности дня и освещения) – люцерна, многочисленные виды люпина.

Тепло как фактор производства газонов. Тепловая энергия – важный жизненный фактор для всех организмов. Она необхо-

дима для роста, развития и функционирования живой клетки растений, животных и человека. Тепло как климатический фактор определяет многие экологические процессы развития растений и выступает как важный экологический фактор. Тепло влияет на расположение растительного мира (флоры) и на выращивание кормовых растений. Культурные растения имеют большие потребности в высокой температуре, чем дикие растения.

Тепло на земной поверхности распределяется с помощью пространственного и временного графика, который важен для производства и использования газонов. Пространственное распределение сокращения тепла к земной поверхности идет в двух направлениях: в горизонтальном и в вертикальном.

Горизонтальное расположение тепла к земной поверхности показывает свойства зональности, существуют три основные тепловые пояса: жаркий, умеренный и холодный.

В вертикальном направлении на каждые 100 м высоты температура снижается примерно на 0,6 °С. Свойства вертикальных поясов зависят от географической высоты и удаленности от моря. Если горы ближе к экватору, то можно выращивать кормовые культуры и на больших высотах. В некоторых районах Азии, Африки и Америки травяные растения выращивают на высоте от 2000 до 3000 м и в Европе с 1000 до 1600 м. По данным исследования, в Швейцарии на высоте 450 м при вегетационном периоде 240 дней можно получать 13 т/га сухого вещества на газонах, на 1750 м над уровнем моря с вегетационным периодом 120 дней – около 6 т/га сухого вещества. С увеличением высоты и за счет сокращения вегетационного периода снижается урожайность сухого вещества на единицу площади. Урожайность сухого вещества уменьшается на 10 % каждые 250 м над уровнем моря, что составляет 400–450 кг сухого вещества/га на каждые 100 м над уровнем моря. Вегетационный период сокращается на 8–9 дней за каждые 100 м над уровнем моря [6].

В начале вегетационного периода более благоприятны высокие температуры, оказывающие стимулирующее действие на рост трав, в то время как во второй срок вегетационного периода отмечается негативное влияние высоких температур.

Вода как фактор производства газонов. Вода является одним из самых важных природных факторов для всех живых су-

ществ. Без воды не может быть сохранен ни растительный, ни животный мир, а недостаточное ее количество ограничивает рост и развитие культурных растений. Высокая и стабильная производительность кормовых растений немыслима без достаточных объемов воды. Роль воды является значительной с момента прорастания семян и на всех этапах их роста и развития вплоть до созревания семян. График влаги на земной поверхности достаточно сложный. Есть определенные закономерности в отношении распределения воды на земле. Нерегулярный график и нехватка воды – распространенное явление и серьезная проблема при производстве трав, особенно газонов. Вода часто является ограничивающим фактором в отдельные годы и в некоторые периоды года. Выращивание кормовых растений больше всего зависит от географического положения посевов и количества воды, доступной растениям в процессе их жизни.

Для успешного выращивания газонов большое значение имеют определенные формы воды, как атмосферные осадки, так и влажность воздуха.

Атмосферные осадки являются необходимыми для успешного выращивания газонов. В горных районах Сербии количество атмосферных осадков обычно превышает 1000 мм, а в некоторых достигает 1500 до 2000 мм в год.

Количество осадков увеличивается с увеличением высоты, но при этом ограничивающим фактором становится бедность почвы.

Вода оказывает на газоны большее влияние, чем тепло, так как их урожайность в большей степени обусловлена количеством осадков в течение вегетационного периода. В условиях Западной Европы газоны дают наибольшую отдачу, если количество осадков составляет 800–900 мм. В условиях Сербии, с учетом более высокой средней годовой температуры, для достижения высокой урожайности необходимо больше осадков (свыше 1000 мм) [35]. Режим влажности существенно влияет на сезонные и годовые изменения растительного покрова. Во время летних минимумов осадков, что происходит в Северном полушарии, с июля до августа происходит значительное сокращение производства кормов на единицу площади [15]. Отсутствие осадков влияет на снижение урожайности кормов, но увеличивается процент сырого белка,

уменьшается доля сырой клетчатки, что в некоторой степени повышает их усвояемость [8].

Воздух как фактор производства газонов. Воздух как фактор климата действует на растения, их химический состав своим движением в виде ветра. Состав воздуха: оксид азота 78 %, кислорода 20,99 %, аргона 0,937 %, углекислоты 0,03 %, водорода 0,0033 %, гелия 0,0005 %. Для растений наиболее важными являются: кислород, углекислота и азот. Кислород имеет большое влияние на растения в процессе дыхания. Недостаток его в почве тормозит развитие подземных частей растений (корни). Улучшение аэрации (проветривание) земли особенно важно для тяжелых и влажных почв.

Углекислота имеет большое значение для усвоения и производства органических веществ, так как тело растения состоит примерно на 40 % из углерода, образовавшегося из воздуха. Очень важно отметить, что газоны – это значительные абсорбенты углерода и вносят вклад в процесс детоксикации атмосферы и сохранения здоровой среды [38]. Атмосферный азот растения используют непосредственно из воздуха в молекулярной форме.

Влияние почвы на производство газонов. Почва является одним из наиболее важных факторов в производстве трав. Это среда, в которой развиваются подземные части кормовых растений, служит источником питательных веществ и воды, оказывает огромное влияние на выращивание растений. При выборе и выращивании кормовых растений не только учитывается их вид, сорт и гибрид, но и принимаются во внимание свойства почвы. На плодородных почвах получают высокие урожаи качественных кормов. Важное значение для растениеводства имеют физические, химические и биологические свойства почвы.

Из физических свойств почвы существенными, с точки зрения производства кормов, являются: механический состав, структура, водные, воздушные и тепловые свойства. Механический состав (текстура) – это количественное соотношение отдельных механических фракций в грунте. Механический состав почвы оказывает существенное влияние на ботанический состав, качество и производительность газонов. Процент бобовых уменьшается, а процент злаковых трав существенно возрастает с увеличением процента частиц почвы менее 0,01 мм. При этом продуктив-

ность и качество трав пастбища значительно (Иванек, 1988). Почвы с тяжелым глинистым пахотным горизонтом, как правило, имеют более низкий урожай сена. Снижение урожайности и состава травяного покрова являются результатом замедления капиллярного подъема воды в сухой глинистый пахотный горизонт. Именно поэтому механический состав почвы имеет большое влияние на ботанический состав, качество и производительность природных газонов.

Структура почвы представляет собой отдельные механические элементы, которые в процессе образования земли сгруппированы в структурные агрегаты определенной формы. Каждый тип почвы имеет свою структуру, которая обусловлена генезисом почвы. Почвы, которые распадаются на механические элементы, называются структурными. Почвы, которые не связываются в агрегаты, например с высоким содержанием песка или глины, – это неструктурные земли.

Вода имеет большое значение для всех основных процессов в почве, а также для успешного производства кормовых растений. Вода в почву прибывает через атмосферные осадки и из грунтовых вод. Наибольшее значение имеют атмосферные осадки. Грунтовые воды имеют большое значение для растений, если они находятся на 0,5 м ниже поверхности земли, подземные воды на глубине 2–5 м большинство культурных растений также используют. Высокие грунтовые воды (0,6 м) способствует получению высокой урожайности сухого вещества, повышению содержания белка и увеличению энергетической ценности кормов [19].

Воздух является чрезвычайно важным фактором практически для всех процессов в почве. От его количества, и в частности кислорода, зависит интенсивность минерализации, развитие корневой системы, а следовательно, и питание культурных растений. Основным источником кислорода для дыхания корней служит воздух почвы. Он беден кислородом и богат углекислым газом. Отсутствие кислорода в почве приводит к снижению урожайности культурных растений. Аэрация почвы, или движение воздуха, имеет важное значение. Оно осуществляется через поры почвы и, следовательно, поры, занятые водой, значительно сокращают количество воздуха. Следующий фактор, который влияет на аэрацию, безусловно, структура почвы. Меры, которые проводят

в целях аэрации почвы, – это удаление избыточной влаги и создание хорошей структуры.

Тепло почвы положительно влияет на прорастание семян, действует на развитие корневой системы и растений в целом. На тепло земли человек может действовать определенными агротехническими мерами: мульчированием ее соломой, торфом, своевременной обработкой почвы весной, внесением органических удобрений и т. д.

Химические свойства почвы являются важным фактором, определяющим их плодородие. Из компонентов почвы, в которых находятся биогенные элементы, могут быть упомянуты: минеральные компоненты почвы, органическая составляющая гумуса.

Минеральная составляющая земли представлена различными химическими соединениями. Это первичные минералы, образовавшиеся при излиянии лавы из недр земли. Они однородны и могут отображаться химической формулой. Кроме основных минералов, встречаются вторичные минералы, как правило, в качестве солей. В природе постоянно происходит процесс распада минералов и, как следствие, освобождение отдельных ионов, биогенных элементов, необходимых для питания растений. Органический компонент земли – гумус, который образуется в процессе гумификации, то есть разложения органического вещества микроорганизмами и синтеза новых сложных органических соединений, имеет большое значение на плодородие почвы.

Для успешного выращивания кормовых растений необходимо поддерживать оптимальное содержание гумуса. Положительное влияние на сохранение и накопление гумуса в почве имеют газоны (травяно-бобовые смеси).

Поглотительная способность почвы – это способность удерживать ионы, молекулы и крупные частицы, одно из наиболее важных свойств почвы. Благодаря ей уменьшается вымывание элементов питания из почвы, что имеет большое значение как для свойств почвы, так и для питания растений.

Почвенный раствор – наиболее важный источник питательных веществ для растений, наиболее доступных для них именно из раствора. Для поглощения питательных веществ из почвенного раствора важна концентрация в нем свободных ионов. Если концентрация питательных веществ в почвенном растворе достаточ-

на, растения хорошо развиваются. Кислотность почвы зависит от соотношения определенных ионов в почвенном растворе. Если в почвенном растворе преобладают H^+ ионы над OH^- ионами, то почва кислая, в обратной ситуации почвы щелочные. Реакция почвы является важным свойством, потому что влияет на многочисленные экологические особенности растений и микроорганизмов, а также на целый ряд физико-химических и химических процессов в почве. На кислых почвах газонов количество фосфора с глубиной уменьшается, а количество токсичного алюминия увеличивается [29]. Желательно, чтобы почва под травами имела минимальное значение рН 6,0, особенно если высока доля белого клевера.

Живые организмы в почве могут быть разделены на макро- и микроорганизмы. Образ жизни, который живые организмы ведут в почве, отличается, но имеет существенное влияние на плодородие почвы. С точки зрения сельскохозяйственного производства, важным фактором является мобилизация организмами элементов питания почвы и в результате этого улучшение питания культурных растений. Дождевые черви своей деятельностью повышают плодородие почвы и, что наиболее важно, увеличивают плодородие почвы и в какой-то степени производят ее агрегатирование.

9.3. Газонные травы

Большое влияние на продуктивность газонов оказывают как отдельные представители трав, так и их сочетание в травосмесях. Они представлены семействами злаковых и бобовых разновидностей. Краткая характеристика семейства бобовых трав, используемых в газонах Сербии, приведена ниже.

Синяя люцерна (*Medicago sativa* L.) – одна из старейших кормовых культур. Была известна 8000 лет назад в Древней Греции и Риме, затем появилась в Западной Европе, а оттуда распространилась по всему миру. Введение люцерны в культуру земледелия началось еще в эпоху бронзы, в период между 1000–2000 г. до н. э. на территории Ближнего Востока. Кормление лошадей инициировало этот процесс.

Синяя люцерна с древних времен считается ценной кормовой культурой. В Аравии ее считают «лучшим кормом», в США –

«королевой кормовых культур». Практически во всех странах мира, где она произрастает, эта культура занимает важное место в рационе крупного рогатого скота. Большое количество домашнего скота и диких животных при употреблении люцерны в питание показывает отличные результаты [12].

Синяя люцерна как кормовая культура широко распространена в Сербии. Ее отличают высокий продуктивный потенциал, отличное качество, содержание белка, долговечность, устойчивость к засухе и зимостойкость, способность к азотификации, возможность использования для кормления практически всех видов скота различными способами (в свежем виде, как сено, сенаж, в виде муки, гранул). Возможность полной механизации процесса производства корма из люцерны выдвигают ее на самое видное место среди кормовых растений.

Растение характеризуется богатством белков, витаминов и минералов. В сухой массе находится примерно 20 % сырого белка. Люцерна богата витаминами А, В1, В2, С, D, Е, К, РР [3, 16]. Количество витамина С (аскорбиновой кислоты) в килограмме сухого вещества в начале роста люцерны составляет 400–500 мг, а в фазе цветения – 200–300 мг. В люцерне содержится значительное количество витамина В1 (тиамина) – 1,2–1,5 мг, витамина В2 (рибофлавина) 2,5–3,3 мг, провитамина А (каротина) от 584 мг (10–12 листов) до 230 мг в фазе цветения.

Благодаря мощной корневой системе люцерна возвращает потерянные питательные вещества из более глубоких почвенных слоев (калий) и оставляет их после себя для культур севооборота.

Синей люцерне отдают предпочтение в севообороте, так как она улучшает структуру почвы, благотворно действует на сельскохозяйственные культуры, используется для защиты от эрозии, восстановления растительности на пепелищах, является очень хорошим медоносом.

В мире люцерна выращивается на площади 33 млн га [20]. Согласно статистическим данным, с 1993 г. синяя люцерна в Сербии выращивается на площади 204 тыс. га при средней урожайности 3,71 т/га сена.

Синяя люцерна – многолетнее растение, живет 4–6 лет на лугах и 3–5 лет на пастбище [1]. В некоторых случаях при выращивании в благоприятных условиях может жить до 25 лет [24]. Она имеет очень сильную корневую систему, в среднем прони-

кающую на глубину до 5 м, но может быть и глубже. От главного корня развивается несколько сильных боковых. Существует корреляция между наземной и подземной частями растений. Обычно до 60 см в глубину развивается на хороших почвах около 60 % корневой системы.

Растение является одним из крупнейших потребителей воды. Для его успешного развития необходимо 280–380 мм осадков в течение вегетационного периода, причем наибольшее потребление воды наблюдается в период интенсивного роста и образования листовой поверхности. Тем не менее люцерна хорошо переносит засуху благодаря достаточно развитой корневой системе, которая в большинстве почв проникает до 7 м в глубину и в засушливые годы дает стабильные урожаи. На плодородных почвах требуется около 300 мм осадков в течение вегетационного периода, на почве низкого плодородия – около 360 мм [42]. Лучшие результаты дает на нейтральной почве.

Люцерна обычно выращивается в кормовых севооборотах, не может быть монокультурой и чувствительна к повторному посеву на той же почве. Не рекомендуется также выращивать другие бобовые растения в севообороте с люцерной.

В своих тканях люцерна содержит определенные аутоотоксичные вещества (в основном в листьях), которые подавляют прорастание и развитие всходов. Согласно некоторым рекомендациям уничтожение аутоотоксичных веществ может быть осуществлено путем обработки почвы после двух лет. Исследования показывают, что в первый год люцерна не выделяет аутотоксины, засев пустых мест на производственной поверхности может быть сделан на втором году жизни сельскохозяйственных культур.

В монокультуре она плохо развивается, дает меньше урожая, сильнее подвергается болезням и вредителям и быстрее изреживается. Повторные посевы люцерны в ту же почву должны быть только через 4–5 лет. Лучшие предшественники для люцерны – кукуруза, сахарная свекла, картофель и др.

Основная обработка почвы под люцерну должна производиться качественно и глубоко. Люцерна положительно реагирует на более глубокую первичную обработку на глубину 35–40 см. Глубокая обработка благоприятно влияет на накопление влаги, быстрое и сильное развитие корней и укрепление люцерны, что уменьшает появление сорных растений и вредителей, усиливает

микробиологическую активность почвы. Предпосевная подготовка почвы для люцерны должна быть выполнена идеально. У люцерны мелкие семена. Для успешного прорастания поверхностный слой почвы на глубину до 10 см должен быть хорошо обработан.

Высокие и стабильные урожаи кормов люцерны могут быть достигнуты с помощью правильного и своевременного внесения удобрений. Для производства 100 кг сена люцерны необходимо 3,0 кг азота, 0,9 кг фосфора и 1,8 кг калия. Каждая тонна сухого вещества люцерны содержит 6,35 кг (P_2O_5) и 26,33 кг (K_2O).

Одним из показателей качества растений люцерны является количество отдельных питательных веществ в растительном материале. Оптимальное количество питательных веществ в растительном материале люцерны следующее (%): фосфор 0,20; калий 2,0; сера 0,20; магний 0,30; бор 20; марганец 15,0; железо 40,0; цинк 12,0; медь 5,0; молибден 0,8.

Установлено положительное влияние на урожайность люцерны органических удобрений. По данным из России, внесение удобрений повысило урожайность люцерны на черноземе на 18–20 %. В Сербии исследования, проведенные на черноземе в Земуну, на опытном поле Сельскохозяйственного факультета, применение 35,0 т/га навоза дало увеличение урожайности на 4,76 т/га сена, а в Крушевцу на кислой почве урожайность сена выросла на 6,18 т/га. Подкормки азотом, по данным многочисленных авторов, нецелесообразны из-за ее способности усваивать атмосферный азот. Синяя люцерна может обеспечить себя на 43–80 % азотом, что составляет 138–319 кг/га [14]. Некоторые авторы даже приводят результат в 463 кг/га [45].

Подкормка азотом может повлиять на интенсивность фиксации атмосферного азота. Если люцерна имеет в своем распоряжении достаточное количество минерального азота (NO_3), то это приводит к снижению количества фиксированного азота [11]. По некоторым исследованиям, интенсивность фиксации азота снижается после скашивания и остается низкой 10–14 дней после косыбы [2]. С увеличением количества азота увеличивается доля сорняков в посевах люцерны, что негативно отражается на продолжительность жизни растений [36].

В условиях сухого климата при посеве люцерны 2/3 РК удобрений должно быть внесено в почву под основную обработ-

ку, а остальные 1/3 и весь азот – в предпосевную подготовку почвы. В другие годы (старая люцерна) общую сумму РК удобрения следует внести осенью после последнего укоса, а азотные удобрения – весной до начала вегетации. Кроме РК удобрений, если есть потребности, можно добавлять в начальной стадии обработки серу. В условиях орошения в первый год так же, как для сухого в последующие годы – половину РК удобрений следует добавить осенью после последнего укоса, четверть добавить весной до начала вегетационного периода и четверть – после первого и второго укосов. Азотные удобрения в условиях орошения старого урожая люцерны должны быть добавлены так: половина – весной до начала вегетационного периода и половина – после второго и третьего укосов [31].

Удобрение люцерны на кислых почвах дает значительные результаты. Внесение ванадия, инокуляция, известкование и навоз намного увеличивают урожайность люцернового корма [40]. При выращивании люцерны на кислой почве (рН 5,4) получим лучшие результаты, применяя 80 т/га навоза с одновременным известкованием 10 т/га СаО и инокуляцией семян [28]. Тем не менее сегодня в мире есть сорта люцерны, которые обладают повышенной устойчивостью к кислой почве, что является важным для расширения ареала произрастания этих культур [4].

Известкование почвы при выращивании люцерны:

- повышает надежность и продуктивность люцерны;
- активизирует микрофлору;
- увеличивает количество кальция и магния;
- улучшает структуру почвы, а также водно-воздушные свойства;

- повышает доступность фосфора и ванадия;

- снижает токсичность марганца, железа и алюминия.

Известкование под люцерну должно быть проведено за год до посадки, из-за замедленного действия извести. Максимальная норма извести, которую применяют под люцерну, составляет 12 т/га.

Применение микроэлементов (цинка, меди, молибдена и кобальта) также влияет на повышение урожайности и качество люцернового сена.

В Сербии люцерну можно сеять круглый год, но два наиболее важных срока посева – это весной и осенью. В агроэкологических условиях Индианы (США), приближенных по своим ха-

рактиристикам к условиям Сербии, люцерна дает более высокую урожайность кормов при посеве весной по сравнению с поздним летним посевом, причем широкорядный посев лучше рядового [37]. Ранний осенний посев дает удовлетворительный результат, но при достаточном количестве осадков в это время. Если период дождей наступает позже, то растения появляются поздно, вступают неразвитыми в зиму, и даже температура – 6 °С может в значительной степени их повредить или полностью уничтожить. Тем не менее в условиях орошения следует отдавать предпочтение посеву ранней осенью.

Использовать люцерну при защитном (покровном) посеве в Сербии не рекомендуется. Урожайность культуры при подсеве в ячмень слабее, чем в чистых посевах [30].

Использование оптимального количества семян при посеве люцерны является одним из наиболее важных методов ведения сельского хозяйства. Тенденция в мире благодаря новым машинам состоит в том, чтобы снижать количество семян. В мире используется для посева от 10 до 30 кг/га семян. При чистом посеве рекомендуется норма высева 10–22 кг/га семян [3, 46]. Если люцерна выращивается с овсяницей для лугов, рекомендуют применение 10–12 кг/га люцерны и 6–7 кг/га семян овсяницы. Для пастбища можно использовать 10–12 кг/га люцерны и 4–7 кг/га семян райграса пастбищного и овсяницы. В условиях орошения следует брать более высокие нормы семян [44]. Общая рекомендация для Сербии заключается в том, что нужно сеять 13–18 кг/га семян, потому что только 50 % семян отвечает посевным стандартам [25].

Страны с более развитым агрокомплексом высевают меньшее количество семян, в то время как слабо развитые страны – большее количество семян из-за плохой подготовки почвы. Глубина заделки семян люцерны не должна быть глубже 2 см.

Люцерну очень успешно выращивают в смеси с другими травами. В менее благоприятных условиях (кислая реакция почвы) в смеси с травами она дает лучшие результаты. Повышается урожайность, легче собирать сено и вести борьбу с сорняками; осуществлять прямой выпас животных.

Известными отечественными сортами люцерны синей являются: Джулии, К-22, К-23, К-28, Бачка, Банат, Медiana,

Славијаи др. Из иностранных сортов известны: Elga, Elena, Europa, Luna, Mariskabul, Marisphoenix, Orca, Pioneer 531 и др.

На начальных этапах развития необходимо поддерживать рыхлый поверхностный слой почвы, для того чтобы получить дружные всходы. Уход за всходами люцерны в первую очередь должен быть направлен на борьбу с сорняками.

Особенно критический период для люцерны – от стадии всходов до первого укоса. Для борьбы с сорняками могут использоваться как механические, так и химические меры. Из механических мер хороший эффект показывает косьба молодой люцерны на 8–10 см высоты. Низкая косьба молодой люцерны на 3–5 см не рекомендуется.

Химические меры борьбы с сорняками сегодня – обычные защитные меры с использованием гербицидов: Bonalan-EC, Basagran-600, Pivot 100-E, Sencor, Lentagran WP, Kerb 50-WP, Beskor E-77. Борьба с сорняками в люцерне значительно повышает урожайность и качество кормов люцерны.

Вредители синей люцерны могут причинить значительный ущерб. На посевы часто нападают люцерновая совка, люцерновая галица, луговой мотылек, люцерновый жук (*Fitodectafornicata*), фитономус (*Phitonomus*), цветочная тля (*Contarinia*). Для их уничтожения используют инсектициды: Bancol, Galation, Zolone, Insektin, Dimercron, Lindan, Agrohimation. Вредителями люцерны также являются нематоды (микроскопические черви), которые повреждают корни растений.

Среди вредителей люцерны может быть мышь-полевка, которая кормится зелеными частями растений, а в отсутствие их – стеблями. Этот вредитель может нанести значительный ущерб растениям и серьезно уменьшить продолжительность ее эксплуатации. Очень успешно подавляется химическими средствами (цинкфосфидом).

Орошение – очень важная мера, с помощью которой обеспечивается реализация полной урожайности люцерны на плодородных, богатых почвах Сербии. Орошение, в частности, на первый план выдвигается в аридных областях в засушливые годы.

Орошение увеличивает урожайность люцерны от 80 до 110 %, и эта мера помощи при выращивании люцерны обязательно должна быть использована [31]. Потребность люцерны в воде на севере Сербии в первый год эксплуатации при весеннем посеве

составляет 545–585 мм, в последующие годы – 670–730 мм. Среднее потребление воды для производства урожая люцерново-го сена в условиях орошения – 363–368 мм, а в условиях без орошения – 427 мм [26].

Уборка люцерны осуществляется чаще всего косьбой, с применением различных типов косилок. Косилки, которые применяют при косьбе люцерны, могут быть поворотные, самоходные и т. д. Всего за вегетацию производится пять укосов с соотношением урожайности 39 : 22 : 20 : 12 : 8 %.

Первый укос проводят в конце апреля или в начале мая, независимо от того, вступила люцерна в стадию бутонизации или нет, потому что задержка приводит к существенным потерям урожая. Последний укос проводят в первой декаде октября, чтобы растения накопили достаточное количество углеводов для зимнего периода. При косьбе люцерны во второй половине дня сено имеет большую питательную ценность по сравнению с люцерной, скошенной утром [23].

Для выпаса люцерну нужно выращивать в смеси с травами. В Сербии слабо используется люцерна для пастбищ из-за появления вздутия у крупного рогатого скота, которое может быть вызвано тем, что в холодных условиях нарушается соотношение калия и натрия в растении люцерны [18].

При посеве рекомендуется сеять 70 % трав и 30 % люцерны для того, чтобы избежать вздутия. Выпас скота после цветения уменьшает появление этого расстройства у крупного рогатого скота [39]. Выпас следует начинать в период бутонизации или в начале цветения с продолжительностью на одном перегоне 6–8 дней.

Оптимальным сроком для косьбы люцерны на сено считается фаза бутонизации – начало цветения, потому что в этот момент формируется высокая урожайность и качественный корм. При этом урожайность люцерны (OS-70) достигает до 57,03 т/га зеленой массы с 4,66 % белка.

Химический состав люцерны отличается по фазам развития и соответствует циклам укосов или стравливания скотом. Производство семян возможно во всех районах, где выращивается люцерна для производства кормов. Для успешного производства семян, кроме влаги, необходима определенная температура во время цветения и созревания. В наших условиях эта сумма тем-

ператур от начала цветения до созревания люцерны составляет от 1000 до 1300 °С [41]. В соответствии с указанными данными оптимальные условия для производства семян следующие: влажность почвы до бутонизации 70–80 % ПВК, во время бутонизации – 70 %, во время налива семян 50–60 % ПВК.

При соблюдении технологии возделывания и благоприятных метеорологических условиях урожай семян люцерны может варьировать от 300 до 500 кг/га и более.

Красный клевер (Trifolium pratense L.) – древняя культура родом из юго-восточной Европы (Caddel and Redmon, 1995). Предполагается, что впервые его начали выращивать в районе Средиземного моря, откуда он родом. Расположен в естественном фитоценозе в Европе, Малой Азии, Иране, Индии, Гималаях, России.

Красный клевер является второй важной кормовой культурой в Сербии после люцерны.

В менее благоприятных условиях для люцерны, где присутствует большая влажность и кислотность почвы, красный клевер может дать лучшие результаты. Он может быть использован в виде зеленого корма, сенажа и обезвоженной муки.

Клевер дает высокие урожаи корма (10–12 т/га сена) отличного качества. В среднем содержит около 17 % сырого белка. Богат провитамином А (каротином), которого в 1 кг зеленого корма может быть 42–88 мг. Богат витаминами С, D, E, К, В1, В2, В3 и ценными микроэлементами.

Красный клевер оказывает положительное влияние на почву, оставляет их чистые от сорняков, обогащает ее биологическим азотом и другими питательными элементами. Количество азота, которое красный клевер может оставить варьирует от 76 до 389 кг/га в год [43]. Некоторые исследования показывают, что красный клевер может быть использован для зеленого удобрения, после которого повышается урожайность и качество культур в севообороте [10].

Красный клевер – многолетнее растение, культурные формы живут около 3 лет, в то время как дикие дольше – до 14 лет. В более поздних исследованиях было установлено, что селекционной работой можно создать сорта, устойчивые к *Fusarium oxysporum* и тем самым увеличить производительность и долго-

вечность до 4 лет жизни. В рамках вида красного клевера есть много форм, но наиболее важны три:

1. *Trifolium pratense* var. *spontaneum* Willk. (var. *Pratorum* Alef.) – дикие или ливадские клевера. Часто выращивается на газонах. Живёт 5 и более лет. Отличается высокой стойкостью к низким температурам.

2. *Trifolium pratense* var. *sativum* Crome (Schreber) – красный клевер. В рамках этого многообразия есть два типа: а) *Trifolium pratense* var. *sativum* subvar. *praesox* Vobr. – ранний тип, дает 2–3 укоса в течение года, рано цветёт; б) *Trifolium pratense* var. *sativum* subvar. *serotinum* Vobr. – поздний тип, распространён в северных районах, дает один очень хороший укос, а после отрастания используется для выпаса скота, живет более 3 лет.

3. *Trifolium pratense* var. *perenne* Sinclair – альпийский многолетний красный клевер. Как правило, живет 3–5 лет.

В морфологическом плане красный клевер своеобразен. Глубина проникновения корней составляет от 60 до 200 см, высота стебля от 20 до 80 см. Стебли вертикальные, их может быть 15–20, листья тройчатые, крупные; цветы представлены соцветиями.

Оплодотворение выполняют в основном насекомые (дикие и домашние пчелы). Цветение начинается в мае и длится до сентября. Семена мелкие, масса в 1000 семян составляет 1,7–2,2 г, в одном килограмме – 500–600 тысяч семян.

Имеет умеренные требования к воздействию высокой температуры, развитие начинается при температуре 3 °С. По сравнению с люцерной более чувствителен к низким температурам. Красный клевер является растением длинного дня. Средняя температура его развития составляет 10,6 градуса С [9].

Предъявляет повышенные требования к влаге, особенно в начале развития. В засушливых районах выращивать его не рекомендуется. В тех областях, где количество осадков составляет ниже 500 мм, красный клевер не дает удовлетворительных результатов. Для производства одной тонны сена на плодородных почвах потребуется 100–140 мм осадков. Согласно некоторым исследованиям, красному клеверу необходимо в среднем 860 мм осадков [9].

Максимальная урожайность достигается при $pH > 6$ с адекватным количеством кальция [9]. Некоторые исследования показывают, что наилучшие результаты красный клевер дает на почвах, где pH колеблется от 6 до 6,5, и, если pH ниже, чем 5,8, необходимо применять известкование за несколько месяцев до посева [5].

Красный клевер можно выращивать 2–3 года на той же почве, после чего следует вводить в севооборот и избегать монокультуру, поскольку это приводит к снижению урожайности, увеличению болезней, вредителей и истощению почвы. Кроме того, красный клевер оставляет большое количество органических остатков, из которых образуются химические продукты, вредные для большинства бобовых. Из-за этого красный клевер на том же месте не может расти более 4–6 лет. Лучший его предшественник – зерновые, а он сам – хороший предшественник для большинства растений (зерновых, некоторых видов овощей).

Обработка почвы для красного клевера должна быть качественная и проводиться как можно раньше летом и осенью. Предпосевная подготовка почвы проводится весной или осенью, в зависимости от времени посева клевера и имеет целью выравнивание поверхностных слоев почвы для качественного посева, прорастания и роста красного клевера.

Высокая урожайность красного клевера может быть достигнута только при правильном применении удобрений. Растение имеет большие потребности в питательных веществах, поэтому для производства 100 кг сена потребляет: 3 кг азота, около 0,7 кг фосфора и около 2 кг калия.

Из органических удобрений используется навоз, в основном под предшествующую культуру. На низкоплодородных кислых почвах можно непосредственно вносить органические удобрения 20–30 т/га. Красный клевер фиксирует значительное количество азота из воздуха благодаря клубеньковым бактериям на корнях. Количество биологического азота колеблется по регионам и варьирует от 76 до 389 кг/га в год [43]. Некоторые исследователи утверждают, что при выращивании красного клевера применение азотных удобрений сводится к минимуму. Красный клевер может производить 12,37 т/га сена, содержащего 18 % белка.

Применение минеральных удобрений зависит от плодородия почвы и составляет в среднем: азота 30–60 кг/га, фосфора 80–120 кг/га и калия 80–100 кг/га. Общее количество фосфорных и калийных удобрений идет под основную обработку, а азотные применяют перед посевом, для развития растений на первых этапах роста, пока не разовьются клубеньковые бактерии. Согласно исследованиям применение азота в небольших количествах (до 40 кг/га), а также инокуляция влияют на рост урожайности. Тем не менее применение азотных удобрений в травяно-бобовых смесях уменьшает долю красного клевера в травостое [43]. Некоторые исследователи рекомендуют применение 18 кг/га азота для успешного роста молодых растений.

Клевер положительно отзывается на применение извести на кислых почвах, а также микроэлементов – В, Zn, Mo, Cu.

Для посева используют высококачественные, чисто сортовые семена высокой всхожести (90–92 %), по возможности инокулированные. Можно выращивать клевер красный как в чистых посевах, так и в смеси с травами, где доля его участия составляет от 20 до 50 %.

Посев проводят весной или в конце лета, в августе и сентябре, с тем чтобы растения на зиму достаточно укрепились. Посев красного клевера может быть узкорядным или широкорядным с шириной междурядий соответственно 12–15 и 40–45 см. Широкорядный посев нужен для производства семян клевера. Глубина заделки семян составляет 1–2 см, высева – 20–25 кг/га при узкорядном посеве и 8–8,5 кг/га при посеве с травами.

После посева почву нужно прикатать, чтобы создать лучший контакт семян с почвенной влагой. Для посева в Сербии используются отечественные сорта: К-17, который дает хорошие урожаи и обладает стойкостью к мучнистой росе; К-9, К-27, К-32. В Нови-Саде за последние годы созданы ценные сорта красного клевера (Колубара и Уна), характеризующиеся высоким выходом и качеством кормов.

Сорта красного клевера обладают стойкостью к токсичности алюминия, болезням, низкой температуре, грибковым заболеваниям, выпасу скота, высоким и низким показателям pH [10]. Тетраплоидные сорта красного клевера показывают повышенную устойчивость к болезням (*Sclerotini* asp.).

Уход за посевами клевера заключается в поддержании почвы в рыхлом состоянии и борьбе с сорной растительностью. Применяют следующие гербициды: Alizor 80-EC, Lentagran WP, Gallant 125 EE, Fusilade Super.

Орошение увеличивает урожайность клевера на 50–80 % и осуществляется по мере необходимости в зависимости от свойств почвы и метеорологических условий. Подкормку проводят 2 раза: перед уходом в зиму фосфорными и калийными удобрениями для защиты от вымерзания и весной с применением азотных удобрений 30–40 кг/га. Для уничтожения вредителей (люцерновый паук) применяются инсектициды, как и у люцерны.

Уборка красного клевера для использования на сено осуществляется в фазе полного цветения, когда он содержит наибольшее количество питательных веществ. Поздно косить не рекомендуется, поскольку это влияет на более слабую регенерацию на следующий укос. В течение первого года эксплуатации красный клевер может дать 2 укоса, если посев был весной, и 3–4 укоса при посеве осенью прошлого года. Во второй и третий год клевер дает, как правило, 3–4 укоса.

Красный клевер является одним из самых известных кормовых растений отличного качества, он может быть применен для кормления скота в виде зеленого корма, сена, сенажа и муки. Редко используется для выпаса скота, как чистый посев, лучше всего подходит для выпаса скота в смеси с травами для избежания вздутия.

В чистом посеве красного клевера количество белка достигает 20 %, тем не менее в смесях с травами количество белка в сене составляет 11–15 %. Крупный рогатый скот при пастьбе на лугу, где есть красный клевер, может дать привес около 1 кг/день в течение 90 дней [5].

Сенаж из красного клевера трудно готовить, потому что растение содержит значительное количество воды. Сенаж лучше готовить, если красный клевер выращивается с травами.

Обезвоживание красного клевера и производство муки рекомендуется в фазу бутонизации, когда красный клевер содержит большее количество белка.

Урожайность зеленой массы колеблется в пределах 40–50 т/га, а сена – 10–12 т/га. Максимальная урожайность корма полу-

чается на второй год жизни, и если в течение летних месяцев выпадали осадки, то может достигнуть 14,8–19,8 т/га сена [5].

Красный клевер имеет благоприятный химический состав. Семена содержат трипсин и хемотрипсин, а зеленый корм – 81 % влаги, 4,0 % белка, 0,7 % жира, 2,6 % клетчатки, 2,0 % золы. В сене содержится 12,0 % влаги, 11,8 % белка, 2,6 % жира, 27,2 % клетчатки и 6,4 % золы, а также макро- и микроэлементы.

Для производства семян используется посев первого года жизни. Стјепановић с соавторами [41] рекомендует в первый год оставить первый укос для семян, а во второй и третий годы – второй укос.

Количество минеральных удобрений в семенных посевах клевера зависит от плодородия почвы и составляет в среднем: азота 30–60 кг/га, фосфора 80–120 кг/га и калия 80–100 кг/га. Общее количество фосфорных и калийных удобрений, вносят под основную обработку, а азотные – рано весной в подкормку. По результатам исследований, на плодородных почвах и при нейтральной реакции почвенного раствора применение азотных удобрений существенно не влияет на увеличение урожайности семян, и производство их может быть достигнуто без применения азота. Красный клевер положительно отзывается на известкование кислых почв, а также на применение микроэлементов В, Zn, Mo, Cu, влияющих на урожайность и качество семян [13].

Эспарцет. Это растение родом из Европы и Азии. На больших площадях выращивается во Франции, в некоторых странах Западной Европы, в Северной Африке, России, в Сербии – в основном в южных и юго-восточных районах.

В соответствии с некоторыми биологическими свойствами при выращивании в неблагоприятных условиях производства эспарцет превосходит люцерну и красный клевер. В условиях Восточной и Южной Сербии, Черногории, Герцеговине и Далмации эспарцет – почти единственная культура, которая успешно может выращиваться. Характеризуется мощной корневой системой, которая очень хорошо проникает в почву и защищает ее от эрозии, успешно усваивает труднорастворимые фосфаты и воду из более глубоких слоев почвы. Эспарцет способен к симбиотической азотфиксации, он не вызывает вздутия у крупного рогатого скота [39].

Растение может использоваться для выпаса скота и косьбы, устойчив к вытаптыванию, дает отличные результаты, если его выращивают в смеси с травами и в чистой культуре. Он характеризуется высоким выходом белка, содержанием минеральных веществ и каротина.

Эспарцет – многолетнее растение, живет 5–8 лет и более. Корни тонкие, хорошо развиты, может проникать в глубину на 8 и более метров. Высота стебля составляет 30–60 см, а у селекционных сортов до 1 м. Масса 1000 семян 18–25 г. Начинается цветение в конце апреля и цветет в течение всего вегетационного периода. Эспарцет для развития требует высоких температур и в отличие от люцерны обладает к ним большей устойчивостью.

Благодаря мощной корневой системе имеет высокую устойчивость к засухе, отлично развивается в условиях, где выпадает более 300 мм осадков, однако не переносит кислых и затопляемых почв [39].

Выращивают его в севообороте после зерновых или многолетних трав. Оставляет земли в хорошем состоянии, является хорошим предшественником для всех зерновых и трав.

Обработка почвы для эспарцета начинается после сбора урожая зерновых. Глубокая вспашка проводится осенью на глубину около 30 см, на лёгких почвах глубина меньше – 20–25 см. Предпосевная обработка непосредственно перед посевом состоит из выравнивания и прикатывания почвы.

Для лучшего развития азотфиксирующих бактерий необходимо удобрение его азотом [39]. Для повышения урожайности и хорошего развития используются органические и минеральные удобрения. Использование навоза оправдано, если эспарцет выращивается на тяжелых почвах. Норма внесения – 20–40 т/га под вспашку. Как правило, используют 50–100 кг/га P_2O_5 и 50–100 кг/га K_2O . Азотные удобрения применяют в количестве 40–60 кг/га в первый год жизни.

Посев эспарцета производится рано весной, в течение марта и апреля. Можно сеять и летом, раньше, чем люцерну, чтобы растения ушли в зиму хорошо развитыми. Ширина междурядий при посеве – от 15 до 35 см в зависимости от свойств почвы. Норма высева – 50–90 кг/га очищенных семян. Перед посевом целесообразно провести инокуляцию семян азотфиксирующими бактериями [39].

После посева почву необходимо прикатать для того, чтобы установить лучший контакт семян с почвенной влагой. Эспарцет можно выращивать в смеси со злаковыми травами или бобовыми (люцерна). Доля эспарцета в смеси составляет 60–80 %.

Уход за посевами эспарцета заключается в защите его от сорняков, вредителей, а также в увлажнении в засушливые периоды, для чего используются стандартные гербициды и инсектициды. Полив проводят по мере необходимости, число и нормы поливов зависят от метеорологических условий.

Уборку эспарцета для сена осуществляют в стадии цветения первых цветов на растении. Косить нужно своевременно, потому что при более позднем сроке стебель грубеет, а качество зеленого корма и сена снижается. Высота косьбы 5–7 см от земли. Если эспарцет выращивают для сенажа, косить следует в фазе полного цветения. Выпас скота производится в фазу начала цветения при высоте 20 см, что значительно продляет срок эксплуатации эспарцета.

Урожайность эспарцета изменяется от 30 до 60 т/га зеленой массы и 7,5–14 т/га сена в зависимости от агроэкологических условий и применяемой агротехники.

9.4. Производство кормов на газонах

В Сербии газоны разделяются на естественные и сеяные. Производство кормов как на естественных, так и на сеяных газонах связано с эффективным уходом за травостоем, заключающимся в создании оптимальных условий для их роста и развития.

Травяной покров естественных газонов состоит из различных видов растений. Они образуют определенную флористическую структуру. Каждое сообщество характеризуется в зависимости от способа расположения отдельных видов, отношения этих видов, влияния некоторых экологических факторов на структуру и количество растений [7].

Естественные луга и пастбища занимают в Сербии большие площади (более 1 650 000 га), в стране существуют четыре основных типа газонов: болотный, низкогорных долин, холмистый и горный.

Наибольшие площади под газонами находятся в горах и на возвышенных областях, значительно меньше равнинно-долинных

и болотных. Они отличаются по составу травостоя, урожайности и кормовой ценности.

Естественные газоны подвергаются экстенсивному способу использования. При экстенсивном способе использования на газонах происходят процессы деградации, заключающейся в снижении урожайности и качества корма. В связи с этим обширные площади газонов в нашей стране не дают достаточного количества кормов. В целях укрепления производства кормов на газонах необходимо выполнять меры, которые повышают их урожайность и качество.

Все меры, учитывая способ применения, действие и влияние на газоны, могут быть сгруппированы в две основные группы: технические и агротехнические. Учитывая способ применения определенных мер в отношении газонов, можно назвать две основные процедуры интенсификации: поверхностные меры ремонта натурального газона и основной ремонт.

Поверхностные меры ремонта естественного газона включают в себя ремонт существующего травяного покрова без его вспашки, применение определенных технических мер и методов ведения сельского хозяйства. Эти меры имеют большое значение в нашей стране и в мире, с их помощью можно с меньшими инвестициями значительно повысить урожайность и качество кормов природного травостоя.

К техническим мерам относятся дренаж, орошение, планирование, уборка камней, вырубка пней, кустарников, деревьев и др. Из методов ведения сельского хозяйства можно отметить: внесение удобрений, вспашку, подсев, применение гербицидов и биологическую мелиорацию натуральных газонов.

Дренаж природных травостоев проводится при избыточном увлажнении территории и является важной мерой, направленной на достижение устойчивых урожаев кормов высокого качества. Дренаж осуществляется на заболоченных участках с высоким уровнем грунтовых вод. Отвод избыточной влаги обеспечивает ее оптимальное содержание в почве до 70–75 % полной влагоемкости, содержание воздуха в почве до 20 % и более. Для осушения применяют системы открытых и закрытых каналов, дренаж.

После осушения болотных газонов возникают изменения флористического состава трав. Через некоторое время травостой

меняется и становится более продуктивным. Изменение фитоценологической структуры одновременно с изменением условий среды происходит в течение длительного периода, результатов мелиорации можно ожидать после определенного ряда лет.

Орошение газонов в засушливые годы и периоды также является эффективным мероприятием повышения их продуктивности. Кроме того, орошение газона влияет на изменение фитоценологического состава и качество кормов. Важность орошения проявляется в том, что она влияет на равномерность и стабильность производства кормов на газонах, а также на экономичность производства.

Сроки орошения газонов определяются по-разному. Можно их установить, оценив состояние растительности, влажности почвы и физиологическим методом, то есть определением концентрации клеточного сока с помощью рефрактометра. При влажности почвы меньше чем 70 % от максимального водного потенциала необходимо производить полив газона.

Способы орошения газонов, такие же, как и у других кормовых растений. Газоны в некоторых случаях оросить проще по сравнению с другими травянистыми растениями. Газоны можно оросить поверхностно дождеванием и подземно с помощью дренажных труб с привлечением грунтовых вод. Поливная норма газонов составляет от 20 до 30 мм, а число поливов колеблется от 8 до 10 в течение вегетационного периода.

Наибольшее значение для поддержания производства кормов на газонах имеют агротехнические меры, которые позволяют правильно их эксплуатировать. Применение этих мер повышает производительность газонов и значительно улучшает качество кормов. Главные агротехнические меры – это удобрение, подсев трав, применение гербицидов и биологическая мелиорация натуральных газонов.

Удобрение является одним из наиболее важных методов ведения сельского хозяйства. Установлено, что производство травкормов на газоне может быть быстро и экономично улучшено только с использованием удобрений, поэтому в последнее время интенсивность производства газонов все в большей степени становится связана с количеством используемых минеральных удобрений на единицу площади [34].

Действие минеральных удобрений на травы – сложный процесс изменения интенсивности физиологической деятельности. Прежде всего удобрения действуют на изменение интенсивности и объема фотосинтеза и производство органических веществ. Удобрения активизируют процесс фотосинтеза газонов, в первую очередь, через повышение ассимиляционной поверхности, например, листовой массы. Многочисленными исследованиями установлено, что между урожайностью газонов и ассимиляционной поверхностью существует сильная положительная корреляция.

Естественные газоны занимают большие площади в Сербии, но преимущественно слабопродуктивны. Кроме небольшого урожая и неустойчивой производительности лугов и пастбищ дают корма (сено и пастбище) низкого качества, и прежде всего из-за неблагоприятного флористического состава и большого количества сорняков. Кормовая масса этих газонов имеет в среднем небольшое содержание белка (6–8 % в сене) более низкого аминокислотного состава, в то время как содержание целлюлозы высокое [34].

Наиболее важной причиной такого состояния природных газонов в Сербии является отсутствие мелиоративных мер, и, в первую очередь, подкормки минеральными удобрениями. В мире проблема подкормки азотом широко изучена, и существуют многочисленные рекомендации его применения.

Правильное применение удобрений требует надежных данных о состоянии плодородия почвы в наших районах, где есть возвышенности и горы. В горном районе Сербии доминируют в большей степени почвы слабо обеспеченные органическим веществом и очень низким уровнем фосфора. Среднее содержание фосфора составляет ниже 10 мг/кг почвы, что является очень низким и для стабильного и высокого производства необходимо регулярное внесение фосфорных удобрений.

Потребность газонов в питании повышается, особенно при интенсивном выращивании и использовании. На единицу урожайности корма газоны потребляют различное количество макроэлементов в зависимости от флористического состава, способа и времени эксплуатации газона. Потребление некоторых питательных веществ меняется по фазам развития. В более поздние

фазы больше выражено потребление калия и фосфора для формирования урожайности, в то время как в более ранние фазы развития необходимо азот, поэтому подкормку пастбища азотом следует проводить в ранний весенний период вегетации.

Удобрение газона должно быть сбалансировано, так как одностороннее применение отдельных питательных элементов может нанести ущерб газону. Так избыток азота потенциально для развития злаковых трав, но подавляются бобовые.

Многочисленные исследования в мире и в нашей стране отмечают, что уровень урожайности кормов на естественных газонах подвергается влиянию различных факторов. Богатый флористический состав и динамика его изменения связаны с агроэкологическими условиями и действиями человека, а все вместе способствует очень сложным изменениям в системе климат – почва – растение.

Удобрение естественных газонов, как известно, повышает урожайность и качество корма, а само производство через год и в течение года стабилизируется. Многочисленные научные опыты показывают, что применение удобрений на естественных газонах увеличивает урожайность корма в среднем в 5–10 раз и более. Эффект подкормки меняется в зависимости от количества использованных удобрений, типа газона, экологических условий и режимов эксплуатации.

Удобрение естественных газонов должно быть рациональным, ведь большое количество удобрений не всегда дает ожидаемый результат (например, применение высоких доз удобрений на слабых горных газонах не дает экономического эффекта). На плодородных почвах, где были созданы газоны лучшего флористического состава долинно-низменного типа, получают от 20 до 34 кг сена; 1 кг фосфора дает 10–18 кг и 1 кг калия – 1,7–14,0 кг сена. Горный естественный газон на единицу удобрений дает низкую прибавку урожая в связи с его бедным флористическим составом. На горных естественных газонах 1 кг азота дает 13–24 кг сена; 1 кг фосфора – 6–19 кг и 1 кг калия – 3,8–14,3 кг.

Следует заметить, что из-за больших изменений, которые происходят под влиянием минеральных удобрений в составе травяного покрова и структуре растительных сообществ, соответственно меняется и питательность корма. Улучшение его качества происходит прямым и косвенным путем. Прямой путь – это повышение качества через увеличение содержания благоприятных

питательных веществ, белка, минеральных солей, витаминов, каротина, что косвенно проявляется в изменении флористического состава, с преобладанием растений большей питательной ценности и вытеснением менее продуктивных растений [33].

Естественные газоны характеризуются слабым выходом и качеством кормов. В составе растительного покрова мало продуктивных трав. Плохое состояние естественных лугов и пастбищ связано с рядом факторов, в частности отсутствием агротехнических и мелиоративных мер и нерациональным использованием угодий. Эти факторы не только ограничивают продуктивность пастбищ и лугов, но и в значительной степени отрицательно влияют на флористический состав растительности. Установлено, что растения неприемлемого вида и сорняки участвуют в урожайности наших естественных газонов на 50–80 %, что значительно снижает ценность кормов в естественных газонах.

Создание благоприятного флористического состава является важной проблемой науки и практики травосеяния. Необходимо определить основные закономерности и изменить флористический состав газонов при воздействии различных факторов путем применения эффективных методов ведения сельского хозяйства.

Многочисленные мировые и отечественные исследования показывают, что при регулировании флористического состава лугов и пастбищ, создания благоприятного соотношения видов и групп растений особое значение имеют минеральные удобрения. Согласно данным этих исследований использование большего количества азотных удобрений на незначительном фоне РК удобрений ($N_3 + РК$, $N_4 + РК$) стимулирует развитие трав [34].

Применение минеральных удобрений для газонов имеет важное значение, так как они по сравнению с органическими имеют некоторые преимущества, и в первую очередь содержат больше питательных веществ, транспортировка их дешевле, соотношение питательных веществ можно установить в соответствии с потребностями на местах и т. д. При применении минеральных удобрений на газонах достигается высокий и стабильный выход корма, поэтому без применения минеральных удобрений нет стабильной и высокой производительности газонов.

Для эффективного применения удобрений на естественных газонах и экономии подкормки минеральными удобрениями

большое значение имеет правильное определение соотношения и доз минеральных удобрений, что зависит:

- от потребностей трав в отдельных элементах питания;
- содержания питательных веществ в почве;
- состава, качества травяного покрова;
- метеорологических условий.

Многие исследования указывают на то, что в наших условиях наиболее благоприятное соотношение NPK 1-2 : 1 : 1 и 2 : 1, 5 : 1 для почв, где не хватает фосфора. На основании результатов опытов для подкормки естественных газонов в Сербии рекомендуются более низкие и средние дозы удобрений. Рекомендованы соответственно следующие дозы NPK: 60–80; 40–50; 40–50 и 100–120; 70–80; 70–80 кг/га действующего вещества.

Сроки применения удобрений в большей части зависят от флористического состава газона, экологических условий, способов эксплуатации, а также свойств вносимых удобрений.

Азотные удобрения легче растворяются, быстрее действуют и легче смываются, их рекомендуется вносить в почву весной и во время вегетационного периода, в два-три срока.

Фосфорные и калийные удобрения действуют медленнее по сравнению с азотными, они слабо мигрируют в профиле почвы. Эти удобрения могут применяться в конце осени и в начале весны, чтобы воспользоваться осенними, зимними и ранними весенними осадками для их растворения.

В агроэкологических условиях Сербии рекомендуют применять навоз на газонах в конце осени или в начале весны. Навоз, в дополнение к значительному увеличению урожайности корма, влияет на изменение флористического состава. Его доза должна составлять от 20 до 25 т/га. Однако следует заметить, что чрезмерное количество навоза на газонах подавляет бобовые. Жидкий навоз в качестве удобрения для газонов используют с обязательным разведением водой в соотношении 1 : 4–5 (жидкий навоз: вода), иногда в течение лета используют и в соотношении 1 : 1 0. Прибавка урожайности под влиянием жидкого навоза в среднем составляет от 3 до 5 т/га сена. Общая рекомендация по применению – от 20 до 40 т/га жидкого навоза с помощью специальных цистерн. Как правило, это удобрение применяется ранней весной и осенью, в то время как во влажных районах может применяться в течение всего вегетационного периода.

Подсевные натуральные газоны являются важной агротехнической мерой, которая улучшает естественный газон, значительно повышает урожайность и качество кормов на газоне. Подсевной дерн на наклонной местности хорошо помогает в борьбе с эрозией. Подсев трав на газонах проводят в тех случаях, когда наблюдается значительное изреживание травяного покрова.

Подсевные естественные газоны имеют более высокую усвояемость кормов, по сравнению со старыми газонами [15]. Подсевные газоны, кроме этого, повышают среднесуточный привес крупного рогатого скота. Лучшие результаты достигаются при применении подсева и внесении удобрений одновременно.

Подсев проводится, как правило, в начале весны или осени, а может, и в течение периода вегетации, если есть система орошения. Норма высева семян для подсева в первую очередь зависит от состояния газона, то есть степени его изреженности и качества семян растений, которые подсевают. Если речь идет о редком газоне, то количество семян, которое применяется для подсева, составляет 50–60 % от нормы обычного посева, что соответствует количеству семян от 15 до 25 кг/га. Однако, если подсев производится на абсолютно пустых местах, количество семян должно быть такое же, как и для обычного посева.

На естественных газонах могут быть сорняки двух видов: абсолютные и условные. Абсолютные сорняки мешают росту и развитию культурных растений и включают в себя растения, которые конкурируют с кормовыми травами, относятся к семейству сложноцветных и не имеют никакой кормовой ценности, а также ядовитые растения.

Меры борьбы с сорняками соответствуют трем направлениям: это превентивные меры борьбы, меры стимулирования полезных трав и непосредственное уничтожение сорных трав на газонах с применением механических и химических способов. Из профилактических мер борьбы могут быть применены уничтожение сорняков на проселочных дорогах, рядом с газоном, по дорогам, каналам, и другим побочным окрестностям, с которых семена могут быть перенесены на газоны. К механическим мерам борьбы с сорняками относится частое скашивание в период вегетации (однолетние сорняки), противодействие их осеменению.

Культивация может дать значительные результаты при подавлении сорняков на газонах. Применение «Dock cultivatoora»

(культиваторов) позволит горизонтально, на глубину 8–10 см, уничтожить корни сорняков.

Использование гербицидов – это наиболее эффективный и простой способ борьбы с сорняками. Гербициды дают лучшие результаты на газонах, где невозможно осуществить повторный посев и подсевание газонов [17].

По эффекту в борьбе с сорными растениями, а также влиянию на травяной покров гербициды могут быть избирательными и полными. Для борьбы с сорняками в травяном покрове наибольшее значение имеют селективные гербициды. Из препаратов можно отметить: Monosanherbi, Herbisan, Dihlorin, Korovicid, Žitokor-D, Herbisansuper, Monosanherbispecial, Monosankombisuper, Monosansuper-DP, Dicolfuid-DP, Zoron EC-20, Roundup, Galoprop-57, Morgal, Galokson и др.

Monosanherbi, (2,4-D) для газонов (без бобовых) применяется в количестве от 2,5 до 3 л/га, то есть от 25 до 30 см³ на 100 м². Аналогично используют Herbisan, Dihlorin, Korovicid и Žitokor-D.

Herbisansuper (2,4-D+МСПА) для газонов (без бобовых) применяется в количестве от 1,5 до 2,5 л/га, то есть от 15 до 25 см³ на 100 м², после первого укоса. Подобно используется и Monosan S.

Monosankombisuper (2,4-D+МЕКОПРОП) для газонов (без бобовых) применяется в количестве от 4 до 5 л/га, то есть от 40 до 50 см³ на 100 м², весной, когда травы находятся в стадии начального развития.

Monosanherbispecial (2,4-D+МСПА+МЕКОПРОП) для газонов (без бобовых) применяется в количестве от 6 л/га.

Dicolfuid-DP – для газонов (без бобовых) применяется в количестве от 4 л/га, то есть 40 см³ на 100 м², применяется весной, когда травы в стадии развития.

Galoprop-57 используется для подавления однолетних широколистных сорняков, таких как Stellariamedia, Galiumapparinae, Chenopodiumspp., Raphanusraphanistrum, Capsella текст-pastoris, для газонов (без бобовых) в количестве от 4 л/га, то есть 40 см³ в 3–10 л воды на 100 м², весной, когда большинство сорняков находится в стадии интенсивного роста.

Для успешного сдерживания распространения сорняков из рода Rumex sp. хорошие результаты дают гербициды Asulan в

количестве от 2,24 кг/га – активные вещества и Коровицид-комби – 4 кг/га в 300 л воды.

В Сербии также практикуется создание культурных газонов, которые по сравнению с природными имеют следующие преимущества.

Культурный газон создается с точно определенным соотношением нескольких видов, которые отличаются по урожайности и качеству по сравнению с ранее существовавшим естественным газоном. Рост урожайности сезонного газона превосходит в 5–10 раз урожайность естественного газона. Большую производительность культурные газоны показывают почти во всех районах страны.

Качество кормов, полученных с культурного газона, значительно превосходит качество естественного газона по количеству белка, минеральных веществ, сахаров, витаминов и других питательных веществ. Кроме того, культурный газон дает более высокие и стабильные урожаи кормов, что позволяет лучше и дешевле кормить скот. Для достижения таких урожаев на культурном газоне необходимо научно обоснованное применение удобрений, орошение в засушливые периоды, борьба с сорняками и проведение других агромероприятий.

Литература

1. Adoyan A. and Y. Liyv (1974). Types of Grass Stands at Intensive Grassland Utilization in the Estonian SSR. Proceedings of the XIII International Grassland Congress Leipzig. Pp. 255–258.
2. Barber, L.D., Joern, B.C., Volenec, J.J. and S.M. Cunningham (1996). Supplemental Nitrogen Effects of Alfalfa Regrowth and Nitrogen Mobilization from Roots. Crop Science. Vol. 36. № 5. P. 1217. Septemb-October.
3. Bolton, J. L. (1962). Alfalfa Botany, Cultivation, and Utilization. Interscience Publishers, New York.
4. Bouton, J. H. and Radcliffe, D. E. (1989). Effects of Acid Soil Selection on Agronomically Important Traits in Alfalfa. Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice. P. 377–378.
5. Caddel, J. and Redmon, L. (1995). Forage Extension Agronomists. Forage crops-production technology. PT 95-16. May 1995. Vol. 7, No. 16
6. Caputa, J. (1977). Problems of modern management of mountain grassland. Proceedings of the XIII International Grassland Congress Leipzig. P. 145–151.

7. Danone, D. and Блаженчић J. (1966). Испитивање structure заједнице Фестугетум псеудовинае. Институт за биолошка и страживања. Зборник радова, књига X. Број. 12. Београд.

8. Denim, B. and Dirven, J. (1974). A model for the Description of the Effects of Different Environmental Factors on the Nutritive Value of forages. Proceedings of the XII International Grassland Congress. Pp. 338–347. Moscow.

9. Duke, J.A. (1978). The quest for tolerant germplasm. p. 1-61. In: ASA Special Symposium 32, Crop tolerance to suboptimal land conditions. Am. Soc. Agron. Madison, WI.

10. Duke, James A.: (1983). Handbook of Energy Crops.

11. Eardly, B.D., Bottomley, P.J., Гарднер, E. H. (1985). Eardly, B.D., Bottomley, P.J. and E.H. Gardner (1985). Molybdenum Limitations to Alfalfa Growth and Nitrogen Contention a Moderately Acid, High-phosphorus Soil. Agronomy Journal. Nov-Dec.

12. Evanko, Anthony B. (1953). Performance of several forage species on newly burned lodgepole pine sites. Res. Note. 133. Missoula, MT: U.S. Department of Agriculture, Kindschy, Robert R. (1991). Alfalfa in crested wheatgrass seedings. Rangelands. 13(5): 244–246.

13. Gembarzewski, H. (1989). Red Clover Needs For Molybdenum and Boron, Soil Treshold Values of Deficiency and Toxicity. Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice. P. 35–36.

14. Heichel, G.H., D.K. Barnes and C.P.Vance (1981). Nitrogen fixation of Alfalfa in the seeding year. Crop Science, 21. Pp. 330–225.

15. Kanneganti, V. R., Dhiman, T. R., Walgenbach, R. P., Massingill, L., Russelle, M. P. and L. D. Sater (1997). Seasonal Distribution of Forage Yield From a Natural Pasture Under Rotational Grazing. Proceedings of the XVIII International Grassland Congress, Winnipeg, Manitoba, Saskatoon, Saskatchewan, Canada. Pp. 29–75.

16. Kindschy, Robert R. (1991). Alfalfa in crested wheatgrass seedings. Rangelands. 13(5): 244-246.

17. Lackovic, A. (1991). Application of herbicides to mountain grassland. Proceedings of the «Grassland renovation and weed control in Europe», page 83-84. European Grassland Federation, Gratz.

18. Mac Adam, J.W., Hill, J. and Whitesides, R. E. (1995). Frost-induced Mowement of Potassium to the Apoplast May Increase Bloat in Ruminants Grazing Alfalfa. Crop Science. Volume 35. No. 4. July-August.

19. Martyniak, L. (1998). The yield and quality of the grassland depending on the water table depth. Proceedings of the 17 th General Meeting of the European Grassland Federation Debrecen Agricultural University Debrecen, Hungary. Pp. 99–101. May 18–21.

20. Mauries, M. (1994). La luzerne aujourd'hui. Editions France Agricole.

21. McEwen, Lowell C.; Dietz, Donald R. (1965). Shade effects on chemical composition of herbage in the Black Hills. *Journal of Range Management*. 18: 184–190.
22. Ondrašek, L., and N. Gaborčik (1998). Optimum fertilizer nitrogen application to grassland considering the nitrogen status in soil and plants. *Proceedings of the 17 th General Meeting of the European Grassland Federation Debrecen Agricultural University Debrecen, Hungary*. Pp. 573–576. May 18–21.
23. Plhak, F. (1989). Differences in Nutritive Value of Lucerne Cut in Morning and Afternoon Hours. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice*. Pp. 817–818.
24. Rumbaugh, M. D. (1982). Reseeding by eight alfalfa populations in a semiarid pasture. *Journal of Range Management*. 35(1): 84–86.
25. Бошњак, Д. и М. Стјепановић (1987). Луцерка. (НИП-Задругар). Сарајево.
26. Бошњак, Ђ. (1992). Потребе луцерке за водом у климатским условима Војводине. *Савремена пољопривреда*. Вол. 40. број 5. С. 39–45. Нови Сад.
27. Иванек, В. (1988). Утјецај механичког састава тла (текстуре) на ботанички састав, квалитету и продуктивност ливада. *Зборних радова стр. 292-298. VI југословенски симпозијум о крмном биљу*. Осиејек, 22–24 јуна.
28. Јеремић, Д. и О. Крстић (1982). Заснивање производње луцерке на параподзолу. *Синописи реферата стр. 82. IV југословенски симпозијум о крмном биљу*. Нови Сад, јуна.
29. McLaughlin, M. J. and T. R. James (1989). Distribution of Phosphorus and Aluminium in Acidid Pasture Soils and Effects on Growth of Subterranean Clover. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice*. Pp. 31–32.
30. Мијатовић, М. (1953). Утицај густине сетве заштитног (покровног) усева на развиће и принос луцерке. *Зборник радова Пољопривредног факултета*. Год. 1. Св. 1. Београд.
31. Мијатовић, М. (1967). Могућности за повећање приноса луцерке применом савремених агротехничких мера. *Југословенски пољопривредно шумарски центар*.
32. Мијатовић, М. (1973). Утицај минералних ђубрива на на принос суве материје крмних биљака у различитим рејонима производње. *Агрохемија*. № 1–2. Београд.
33. Мијатовић, М. и А. Николић (1979). Утицај састава меша, ђубрења и времена коришћења на садржај целулозе, хемицелулозе и лигинина у сени сејаних ливада. *Савремена пољопривреда*. Број 3–4. Год. 27. С. 115–127. Нови Сад.

34. Мијатовић, М. (1971). Ђубрење природних ливада и пашњака у Србији. *Агрохемија*. № 9–12. С. 463–476.
35. Мијатовић, М., (1977): *Ливадарство са пашњаштвом*. Пољопривредни факултет Београд.
36. Мишковић, Б. (1971). Најповољнији односи N, P, K и Ca у исхрани луцерке. Дисертација. Нови Сад.
37. Mullen, R. E., Vorst, J. J., Laborde, H. E. and C. L. Rhykerd (1977). Yield and stand dynamics of *Medicago sativa* as influenced by seeding management. *Proceedings of the XIII International Grassland Congress Leipzig*. Pp. 789–791.
38. Oku, T., Shibata, S., Takahashi, S., and M. Shibayama (1997). CO₂ Gas Fluxes in Grazing Pasture. *Proceedings of the XVIII International Grassland Congress, Winnipeg, Manitoba, Saskatchewan, Canada*. Pp. 9–17.
39. Smoliak, S., Ditterline, R.L., Scheetz, J.D., Holzworth, L.K., Sims, J.R., Wiesner, L.E., Baldrige, D.E. and Tibke, G.L. (2004). *Plant Species, From Montana Interagency Plant Materials Handbook*, Montana State University.
40. Сарић, О., Рамошевац, И. и Бахтовић, И. (1982). Морућност узгоја луцерке на киселом тлу, примјеном молибдена, инокулације стајњака и калција. Синописи реферата. С. 64–67. IV југословенски симпозијум о крмном биљу. Нови Сад, јуна.
41. Стјепановић М. (1998). Луцерна, Осиек.
42. Stanton, F. (1974). *Wildlife guidelines for range fire rehabilitation*. Tech. Note 6712. Denver, CO: U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management. 90 p.
43. Taylor, N. L. and Quesenberry, K. H. (1996). *Red Clover Science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
44. Thompson, D.J. and Stout, D.G. (1996). Influence of Sowing Rate on Dry Matter Yield, Plant Density and Survival of Lucerne (*Medicago sativa* L.). Under Dryland and Irrigated Conditions. *The Journal of Agricultural Science, Cambridge*. Vol. 126. Part 3. May.
45. Hanson, A.A., Barnes, D.K., Hill, R.R. (1988). *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. Madison, Wisconsin, USA.
46. Horton, Howard, ed. and compiler. (1989). *Interagency forage and conservation planting guide for Utah*. Extension Circular 433. Logan, UT: Utah State University, Cooperative Extension Service. 67 p.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. Геосистемные аспекты мелиоративно-сельскохозяйственного природообустройства гумидной зоны <i>(Ковалев Н.Г., Иванов Д.А. – ГНУ ВНИИМЗ, г. Тверь).....</i>	
1.1. Основные принципы геосистемных аспектов природообустройства осушаемых земель.....	6
1.2. Типизация и группировка осушаемых земель.....	18
1.3. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия.....	33
1.3.1. Региональные системы земледелия.....	47
1.3.2. Базовые системы земледелия.....	51
1.3.3. Типовые системы земледелия.....	64
1.3.4. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия конкретных хозяйств.....	75
1.4. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия конкретных хозяйств на основе результатов ландшафтно-полевого опыта.....	85
1.4.1. Принципы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур для условий конкретных хозяйств	100
Глава 2. Агрэкологическое состояние мелиорированных торфяных почв, интенсивно используемых в сельскохозяйственном производстве длительное время <i>(Поздняков А.И., Мусекаев Д.А., Поздняков Л.А., Позднякова А.Д., Широкова Е.В. – ГНУ ВНИИМЗ, г. Тверь).....</i>	114
2.1. Изменения агрэкологического состояния торфяных почв после длительного использования. Общие тенденции....	114
2.2. Изменение базовых показателей при трансформации низинных торфяных почв – эутрофных торфоземов при длительном использовании в постмелиоративный период	124
2.3. Оценка биологического состояния торфоземов при длительном выращивании овощных культур.....	135
2.4. Трансформация естественного травостоя Яхромской поймы и пути повышения его продуктивности.....	144
Глава 3. Повышение плодородия малопродуктивных почв Мещерской низменности под воздействием структурных мелиораций <i>(Курчевский С.М. – Белорусская ГСХА, г. Горки; Мажайский Ю.А., Томин Ю.А., Евтюхин В.Ф. – ГНУ ВНИИМЗ, г. Тверь; Гусева Т.М. – ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России, г. Рязань).....</i>	
3.1. Основы оптимизации малопродуктивных почв.....	154

3.2.	Методологические основы восстановления малопродуктивных почв.....	157
3.3.	Улучшение малопродуктивных супесчаных дерново-подзолистых почв при внесении органических, минеральных удобрений и микробиологического препарата.....	163
3.4.	Улучшение продуктивности торфяной почвы при песковании и глиновании.....	176
Глава 4.	Экспериментальная оценка фитомелиорации как способа детоксикации загрязненных тяжелыми металлами почв (Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А. – ГНУ ВНИИМЗ, г. Тверь).....	192
4.1.	Распределение и концентрирование тяжелых металлов в различных культурах.....	193
4.2.	Влияние многолетнего выращивания люпина узколистного в условиях искусственного загрязнения тяжелыми металлами дерново-подзолистой почвы.....	199
4.3.	Оценка влияния загрязнения тяжелыми металлами почвы на ее токсичные свойства и экологические показатели.....	203
4.4.	Баланс тяжелых металлов в полевом опыте.....	212
Глава 5.	Агроэкологические режимы и технологии использования стоков животноводческих комплексов при орошении малопродуктивных земель (Желязко В.И., Тиво П.Ф., Крутько С.М., Копытовский В.В. – Белорусская ГСХА, г. Горки; Мажайский Ю.А. – ГНУ ВНИИМЗ, г. Тверь).....	217
5.1.	Влияние бесподстилочного навоза на окружающую среду.....	217
5.2.	Обеззараживание животноводческих стоков.....	239
5.3.	Влияние стоков на качество урожая.....	242
5.4.	Орошение животноводческими стоками и качество природных вод.....	251
5.5.	Природоохранные мероприятия в зоне животноводческих комплексов.....	266
5.6.	Биоинженерные сооружения и мероприятия по охране вод, принципы их создания и функционирования.....	277
5.7.	Предложения по организации мониторинга при использовании бесподстилочного навоза.....	288
Глава 6.	Зеленое удобрение как источник плодородия в земледелии (Персикова Т.Ф., Довбан К.И., Царёва М.В. – Белорусская ГСХА, г. Горки)	
6.1.	Культуры, формы, виды применяемых сидератов.....	298

6.2.	Зеленые удобрения – биологическая основа природоохранных технологий.....	308
6.3.	Зеленые удобрения – биологическая основа природоохранных технологий.....	319
6.4.	Влияние зеленого удобрения на урожай сельскохозяйственных культур и его качество.....	326
Глава 7.	Мониторинг биологической рекультивации нарушенных земель урбанизированных территорий (<i>Гуркина И.В., Иванова Н.А., Михеев П.А. – Новочеркасская гидромелиоративная академия, г. Новочеркасск</i>).....	337
7.1.	Методологические основы мониторинга рекультивированных земель.....	337
7.2.	Результаты мониторинга рекультивированного золоотвала	345
Глава 8.	Возможности и риск использования осадков сточных вод в сельскохозяйственной промышленности (<i>Сондей В., Вышковски М., Скорвидэр-Намётко А. – Варминско-Мазурский университет г. Ольштын, Республика Польша</i>)	370
8.1.	Осадки сточных вод в Польше и их особенности.....	370
8.2.	Свойства сточных осадков.....	373
8.3.	Технологии, применяемые для переработки осадков сточных вод.....	380
8.4.	Технологии переработки, восстановления и обезвреживания ОСВ	385
	8.4.1. Натуральное использование осадков сточных вод	393
	8.4.2. Складирование осадков сточных вод.....	424
	8.4.3. Термическое обезвреживание ОСВ.....	425
8.5.	Основные правовые основы обращения с осадками сточных вод.....	430
8.6.	Перспективы развития экономики утилизации ОСВ в Польше.....	433
Глава 9.	Производство лугов и пастбищ в Сербии (<i>Саво М. Вучковић, Славен А. Продановић, Мила Савић, Mensur Vegara</i>).....	
9.1.	Определение и значение газонов.....	444
9.2.	Агроэкологические и агротехнические аспекты выращивания газонов.....	446
9.3.	Газонные травы.....	453
9.4.	Производство кормов на газонах.....	468

Научное издание

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЕДЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ДЛИТЕЛЬНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ,
НАРУШЕННЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

Монография

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 07.12.14. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная
Гарнитура Таймс. Печ. л. 30,25. Тираж 500 экз. Заказ №50449.

Отпечатано в типографии «OneBook» ООО «Сам Полиграфист»
129090, г. Москва, Протопоповский пер., д. 6. www.onebook.ru