

ПРИОРИТЕТНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ОБРАЗОВАНИЕ»

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

В.Г. ЛАРЕШИН, А.В. ШУРАВИЛИН

**ПУТИ СНИЖЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ
И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ
В АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ
СУБТРОПИЧЕСКОЙ И ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОН**

Учебное пособие

Москва

2008

*Инновационная образовательная программа
Российского университета дружбы народов*

**«Создание комплекса инновационных образовательных программ
и формирование инновационной образовательной среды, позволяющих
эффективно реализовывать государственные интересы РФ
через систему экспорта образовательных услуг»**

Экспертное заключение –

доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник *Н.А. Муромцев*

Ларешин В.Г., Шуравилин А.В.

Пути снижения деградации и современные технологии повышения плодородия почв в антропогенных ландшафтах субтропической и тропической зон: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 263 с.

В работе интегрированы современные материалы по характеристике состояния почвенного покрова аграрных ландшафтов субтропиков и тропиков, процессам деградации почв и следствию их проявления на состояние окружающей среды. Рассмотрена система мероприятий по снижению опасности проявления деградации, включающая помимо «стандартных» приемов систему принципов управления почвенным плодородием, в основе которой должна лежать национальная политика в использовании земельных ресурсов, учитывающие социально-экономические и природно-экологические факторы.

Для студентов, проходящих магистерскую подготовку по направлениям «Агрономия» и «Садово-парковое и ландшафтное строительство».

Учебное пособие выполнено в рамках инновационной образовательной программы Российского университета дружбы народов, направление «Комплекс экспортоориентированных инновационных образовательных программ по приоритетным направлениям науки и технологий», и входит в состав учебно-методического комплекса, включающего описание курса, программу и электронный учебник.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Тема 1. Современное состояние почвенного покрова аграрных ландшафтов субтропиков и тропиков	7
1.1. Земельные и почвенные ресурсы мира и их состояние.....	7
1.2. Оценка земельных ресурсов мира	9
1.3. Почвенные ресурсы тропического пояса.....	10
1.4. Система удобрений	12
1.5. Почвенные ресурсы субтропического пояса	13
1.6. Основные пустынные образования тропического и субтропического поясов	14
Тема 2. Процессы деградации почвенного покрова субтропической и тропической зон	15
2.1. Деградация: определения понятий	15
2.2. Социально-политические факторы агрогенной деградации почв.....	19
Тема 3. Индикаторы опустынивания территории деградации почв	20
Тема 4. Система мероприятий по снижению опасности проявления деградации почвенного покрова субтропической и тропической зон	24
4.1. Обеспеченность ферраллитных почв азотом.....	24
4.2. Обеспеченность ферраллитных почв тропического пояса зольными элементами	26
4.3. Проблемы ирригации в практике землепользования в странах тропического пояса....	28
4.4. Проблемы охраны почв тропического пояса от эрозии и дефляции	29
4.5. Проблема латеритообразования в почвах ландшафтов тропического пояса	30
Тема 5. Основы ландшафтной организации территории водных бассейнов	35
5.1. Концептуальные принципы единой государственной почвенной политики – основа рационального использования, охраны и повышения продуктивности почвенного покрова	35
Тема 6. Водная эрозия	44
Тема 7. Дефляция почв	65
Тема 8. Опустынивание и технологии борьбы с ним	82
Тема 9. Засоление почв	91

9.1. Общие вопросы засоления почв	91
9.2. Засоление почв и сельскохозяйственные культуры.....	92
9.3. Мелиорация засоленных почв.....	94
9.4. Опыт мелиорации почв солонцовых комплексов в Прикаспийской низменности	101
Тема 10. Загрязнение почвенного покрова	110
Тема 11. Переувлажнение и заболачивание почв в результате антропогенной деятельности	125
Тема 12. Биологическая деградация почв	139
Тема 13. Энергетический тип деградации	151
Тема 14. Современные методы предотвращения эрозионных процессов	164
Тема 15. Борьба с засолением и осолонцеванием орошаемых земель. Промывки и их расчет	179
Тема 16. Современные мелиоративные технологии для ликвидации переувлажненных и заболоченных почв.....	192
Тема 17. Фитомелиорация загрязненных и засоленных почв	205
Тема 18. Адаптивно-ландшафтное землепользование как основа для восстановления и сохранения почв, подверженных деградационным процессам..	217
Литература	233
Описание курса и программа	236

ВВЕДЕНИЕ

В связи с антропогенной деградацией почв, интенсивно проявляющейся с конца прошлого века, проблема сохранения, повышения и расширенного воспроизводства плодородия становится все более актуальной. В документах конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992) приведены следующие данные по степени деградации почвенного покрова земли: крайняя степень деградации – 1%; сильная – 15%; умеренная – 46% и легкая – 36% площади. Процессы деградации почв получили широкое распространение как в гумидной, так и аридной зонах мира. По оценкам международной организации ФАО около 70% площади суши земного шара представлены малопродуктивными угодьями, производительность которых ограничена почвенно-климатическими, рельефными или хозяйственными условиями. Одновременно увеличиваются потери продуктивных почв мира. За последние 50 лет общая площадь продуктивных почв уменьшилась на 300 млн га, а количество утраченного в результате процессов дегумификации органического углерода составило 38 млрд т (Г.В. Добровольский, 2000).

Учитывая масштабы антропогенной деградации почвенного покрова почву необходимо оградить от влияния процессов, разрушающих ее ценные свойства – структуру, содержание почвенного гумуса, микробное население и в тоже время от поступления и накопления вредных и токсичных веществ.

К числу известных и широко распространенных видов деградации почв можно отнести следующие:

- водная эрозия;
- дефляция;
- интенсивное сельскохозяйственное освоение и использование территории, в результате которого происходит потеря гумуса пахотными почвами;
- засоление и снижение плодородия орошаемых почв;
- переувлажнение и заболачивание почв;
- химическая деградация;

- латеритообразование;
- ожелезнение;
- отакыривание;
- панциреобразование;
- загрязнение;
- закисление;
- осолонцевание;
- слитизация;
- глееобразование;
- деструкция биоты;
- развитие процессов опустынивания земель.

Борьба с предотвращением всех видов деградации почв возможна при реализации комплекса мер, обеспечивающих рациональное использование земельных угодий при расширенном воспроизводстве плодородия почв. Накопленный научно – производственный опыт обеспечивает комплекс крупномасштабных работ по восстановлению продуктивности деградированных почв в зависимости от почвенно-климатических условий зоны, форм хозяйствования и проявления негативных процессов.

Для эффективного использования деградированных почв широко применяется система агротехнических, фитолесотехнических и мелиоративных мероприятий самостоятельно или в сочетании с биологическими и химическими методами.

Как правило, общим для всех существующих приемов, методов, способов и технологий предотвращения и ликвидации деградированных почв остается рациональное природопользование, в основу которого заложены принципы адаптивно – ландшафтного землепользования. Однако все эти вопросы подвергались системному анализу и обобщению и не нашли отражения в учебных пособиях. В настоящем учебном пособии обобщены теоретические и экспериментальные материалы по вопросам антропогенной деградации почв, энергосберегающих и экологически безопасных методах ее снижения и технологии повышения их плодородия применительно к ландшафтам тропической и субтропической зон.

ТЕМА 1

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АГРАРНЫХ ЛАНДШАФТОВ СУБТРОПИКОВ И ТРОПИКОВ

1.1. Земельные и почвенные ресурсы мира и их состояние

Общая площадь суши (без ледников и воды) составляет 1333,1 млн га, в т.ч.:

- равнинные территории – 10214,7, или 76,6%;
- горные территории – 3124,4, или 23,4%.

Почвенно-географические и природно-сельскохозяйственное районирование суши.

По современным представлениям, в почвенном покрове суши могут быть выделены широтные почвенно-климатические пояса, обусловленные главным образом термическими особенностями климата (полярный, бореальный, суббореальный, субтропический, тропический) (табл. 1.1).

Для каждого пояса характерен свой большой ряд типов почв, которые не встречаются в других поясах. Эти типы имеют сходные термоэнергетические режимы почвообразования. Почвенно-климатические пояса разделяют на почвенно-биоклиматические области.

Почвы почвенно-биоклиматических областей характеризуются определенным режимом атмосферного увлажнения и типами растительного покрова. На поверхности суши различают следующие области:

- влажные (экстрагумидные и гумидные) с лесным, тажным или тундровым растительным покровом;
- переходные (субгумидные и субаридные) со степным, ксерофитно-лесным и саванным растительным покровом;

– сухие (аридные и экстрааридные) с полупустынным и пустынным растительным покровом.

Почвенный покров почвенно-климатических областей более однороден, чем почвенно-климатических поясов, но все же он состоит из нескольких зональных и сопутствующих им интрозональных типов. Поэтому в каждой почвенно-климатической области выделяют две или три почвенные зоны.

Почвенная зона определяется как ареал одного или двух зональных почвенных типов и сопутствующих им интрозональных и внутризональных почв. Почвенная зона может быть подразделена на подзоны.

Почвенная подзона – часть почвенной зоны, на территории которой распространены определенные зональные подтипы почв.

Почвенная фация – часть почвенной зоны (подзоны), существенно отличающаяся от других ее частей по температурному режиму почв и сезонному ходу увлажнения.

Почвенная провинция – часть почвенной фации, выделяемая по тем же признакам, что и фация, но при более детальном подходе.

Почвенные провинции по оролитологическим признакам и структурам почвенного покрова разделяются на почвенные округа и районы.

Таблица 1.1.

**Распределение почвенного покрова суши
по почвенно-биоклиматическим поясам и областям, %**

Пояса	Области климата			
	Влажные (гумидные)	Переходные	Сухие (аридные)	Всего
Тропический	20	13	9	42
Субтропический	5	6	9	20
Суббореальный	4	6	6	16
Бореальный	18	–	–	18
Полярный	4	–	–	4
Всего	51	25	24	100

1.2. Оценка земельных ресурсов мира

Земельные ресурсы мира, с точки зрения земледелия, не очень благоприятны и до 70% суши представлены малопродуктивными угодиями:

20% – расположены в слишком холодном климате;

20% – расположены в засушливом климате;

20% – находятся на слишком крупных склонах;

10% – обладают слишком малой мощностью почвенного профиля;

10% – используются под сельскохозяйственные культуры;

20% – заняты пастбищами, лугами, сенокосами.

Площади сельскохозяйственных угодий планеты, га:

площадь суши – $14,8 \times 10^9$

в том числе:

пашня – $1,5 \times 10^9$

луга, пастбища – $2,6 \times 10^9$

леса продуктивные – $4,06 \times 10^9$

Относительная распаханность территории, %:

Общая – 10–11

Европа – 31

Юго-Восточная Азия – 16

Африка – 9

Южная Америка – 4

Австралия – 1,2

Ява (Индонезия) – 70

Индия – 30,1

США (с Аляской) – 14

Китай – 8,2

Канада – 2,4

Бразилия – 1,1

1.3. Почвенные ресурсы тропического пояса

Площадь тропического пояса занимает около 42% суши Земли. Площадь обрабатываемых земель в этом поясе составляет около 29% от мирового земледелия. В настоящее время наиболее земледельчески освоенными являются засушливые и сухие тропические области, в которых коэффициент земельного использования (КЗИ) достигает около 13%. В их составе наиболее высокое освоение характерно для вертисолей (КЗИ = 0,31), лугово-красных (КЗИ = 0,24), пойменных (КЗИ = 0,18) и красно-бурых ферралитных почв сухих саванн (КЗИ = 0,15).

На территории тропического пояса выделяются следующие растительные зоны:

- тропические постоянно влажные леса (гилеи);
- тропические переменнно влажные леса, редколесья и высокотравные саванны;
- ксерофитные леса и сухие (низкотравные) саванны;
- тропические полупустыни;
- тропические пустыни.

Влажные области занимают около половины площади пояса – 45%, засушливые – 30%.

Агроэкологические подклассы тропических почв выделены по условиям увлажнения:

- тропические гумидные формации красно-желтых ферраллитных и темно-красных маргалитных почв;
- тропические семигумидные формации красных ферраллитных и альферритных почв и черных тропических почв;
- тропические семиаридные формации коричнево-красных, красно-бурых и черных тропических почв;

– тропические аридные формации красновато-бурых и пустынных почв.

Коричнево-красные почвы, получающие по сравнению с красно-бурыми почвами немного больше осадков, освоены значительно меньше, что связано, по-видимому, с расположением в малонаселенных областях Южной Африки и Бразилии. Н.Н. Розов и М.Н. Строгонова (1979) предполагают в качестве лимитирующего фактора, определяющего низкий КЗИ, также высокую ферралитизацию коричнево-красных почв. Такое предположение вряд ли является корректным, так как оно вносит существенную неопределенность в классификационную принадлежность этой группы типов почв, в понимание их генезиса, особенностей состава, генетических и агрономических свойств.

Для тропического пояса характерна значительная земледельческая освоенность горных почв ($KZI \sim 0,08-0,13$), что обусловлено менее жарким и более благоприятным для расселения человека климатом.

Значительно уступают по земледельческой освоенности влажные тропические области ($KZI \sim 0,07$): здесь больше всего освоены вертисоли ($KZI = 0,3-0,45$), а основные почвы – красно-желтые ферраллитные – распаханы очень мало ($KZI \sim 0,09$). Природные лесные ландшафты, характерные для этих почв, во многих местах сильно нарушены в результате переложной подсечно-огневой системы земледелия. Во влажных тропических областях большое значение имеет горное земледелие.

Пустынное земледелие в тропическом поясе не имеет практического значения.

Освоение новых пахотных земель в тропическом поясе и повышение производительности старых пашен связано со многими сложными агрометеорологическими проблемами, которые или специфичны только для тропиков, или получают в тропиках ряд своеобразных особенностей. Среди них называют:

- специфические системы севооборотов;
- систему удобрений, предусматривающую внесение их под каждый урожай;
- систему противоэрозионных мероприятий;

- систему мер по охране почв от латеритообразования;
- систему ирригации.

Система севооборотов

Пахотные почвы тропического пояса не терпят перегрева и пересыхания. Они быстро теряют гумус, микробиологическую активность и почвенную структуру. Поэтому севообороты должны строиться так, чтобы:

- поверхность почвы все время была под покровом растительности;
- в составе севооборотов регулярно повторялись сидеральные культуры, пополняющие почву азотом;
- культуры одного года (при трех урожаях) сочетались с посевами культур последующих лет.

Во многих случаях требуется подсев культур и выращивание одной культуры под пологом другой. Кроме того, при построении севооборотов должны учитываться влажные и сухие сезоны года. В севооборотах возможны сочетания влаголюбивых (рис) и суходольных (зерновые, хлопчатник) культур.

1.4. Система удобрений

Проблема удобрений – одна из важнейших для тропического земледелия. Именно в тропиках вследствие бедности почв и отсутствия удобрений получила такое широкое распространение переложная подсечно-огневая система земледелия, которая привела к уничтожению естественных ландшафтов на огромных площадях.

Ферраллитные почвы тропического пояса являются одним из существенных резервов расширения посевных площадей. В то же время они изучены крайне недостаточно: спорным остается вопрос их генезиса; не исследованы их провинциальные особенности; не разработаны пути повышения плодородия почв, в том числе и с учетом структуры почвенного покрова и особенностей их свойств.

1.5. Почвенные ресурсы субтропического пояса

Площадь субтропического пояса, включая территории северного и южного полушарий составляет 2571,9 млн га, то есть в 2,2 раза меньше площади тропического пояса. Но сельскохозяйственное использование почвенных ресурсов субтропического пояса в 2,4 раза выше тропического пояса.

Здесь, как и в тропиках, более распаханы почвы засушливых и сухих областей (КЗИ ~ 25%): коричневые – 0,53; пойменные – 0,46; вертисоли – 0,20.

В сухих субтропиках основными почвами являются серо-коричневые^{*)}, но они используются гораздо меньше как на равнинах (КЗИ ~ 0,13), так и в горных областях (КЗИ ~ 0,12). Более высокие зоны горных областей используются значительно интенсивнее и КЗИ для горных коричневых и горных бурых лесных почв соответственно достигает 0,20 и 0,22.

Второе место в субтропическом поясе по использованию в земледелии занимают почвы влажных лесных областей (КЗИ ~ 0,20); наибольший КЗИ характерен для желтоземов и красноземов (~ 0,30), красновато-черных почв прерий (~ 0,25) и пойменных почв речных долин (~ 0,47). Желтоземы глеевые и лугово-болотные почвы почти не используются в земледелии. КЗИ горных желтоземов и горных красноземов достигает 0,12, а горных бурых лесных почв – 0,17.

Почвы субтропических полупустынь и пустынь еще очень мало освоены в земледелии (7%). Главные сельскохозяйственные площади расположены в поймах речных долин (КЗИ ~ 0,45), на лугово-сероземных почвах (~ 0,28) и сероземах (~ 0,14). Основная часть поверхности – субтропические пустынные почвы – используются в земледелии только на 2%, а пески почти совсем не освоены. Горное земледелие здесь также играет существенную роль: горные серо-коричневые и горные бурые лесные почвы используются соответственно на 16 и 21%.

Средняя распаханность равнинных территорий субтропиков составляет около 18%, а территорий горных областей – 14%.

В отличие от тропического пояса, имеющего большие почвенные резервы (земледельческие площади здесь могут быть увеличены более чем в 3 раза), субтропический пояс очень давно заселен и освоен. По прогнозам экспертов земледелие в субтропиках может быть расширено лишь в 1,5 раза.

1.6. Основные пустынные образования тропического и субтропического поясов

Эксперты по земельным ресурсам мира относят пустынные образования тропического и субтропического поясов к категории геохимических образований.

Наиболее широкое распространение среди них получили: эрги, реги, хаммады и шоты.

Эрги – песчаные пустыни с волнистой поверхностью барханов, гряд и понижений между ними.

Реги – геохимические образования, представляющие собой плоские песчаные пустыни.

Хаммады – плоские каменистые пустыни.

Шоты – геохимические образования, представляющие собой солевые выделения на плоских понижениях и в ложах высохших озерных котловин.

ТЕМА 2

ПРОЦЕССЫ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СУБТРОПИЧЕСКОЙ И ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОН

2.1. Деградация: определения понятий

Понятие «деградация почв» используется весьма широко в мировой литературе с различными вариациями содержания. В последнее десятилетие российской научной школой было уделено значительное внимание проблеме антропогенной деградации и систематизации понятийного аппарата.

В частности, Н.Б. Хитров (1998) предлагает следующие тексты по рассматриваемым вопросам, совершенно справедливо считая, что в каждой науке необходимо стремиться к предельной точности и ясности понятий.

«Деградация почвы – это вызванный человеком процесс ухудшения и/или утраты свойств и качеств почвы (в пределах элементарного почвенного ареала), результат которого способствует увеличению затрат различного рода ресурсов (энергетических, сырьевых, информационных и проч.) для достижения ранее получаемого количества и качества продукции и/или увеличению ограничений на дальнейшую деятельность человека» (с.21).

«Деградация почвенного покрова – это вызванный человеком процесс ухудшения и/или утраты свойств и качеств почвенной комбинации, результат которого способствует увеличению затрат ресурсов для достижения ранее получаемого количества и качества продукции и/или увеличению ограничений на дальнейшую деятельность человека» (с. 21).

Н.Б. Хитровым (1998) разработан вариант системы понятий, касающихся деградации почв, учитывающий уровень организации почвенного покрова.

Для элементарного почвенного ареала (ЭПА) предложены следующие понятия и определения:

- деградация почвы;
- степень деградации почвы;
- скорость деградации почвы;
- вид деградации почвы;
- число совмещенности;
- степень развития вида деградации почвы;
- скорость развития вида деградации почвы.

Степень деградации почвы – это сравнительный уровень выраженности деградации почвы в целом к фиксированному моменту времени, а скорость деградации почвы – быстрота изменения степени деградации почвы.

По видам деградации почвы предложена группа процессов ухудшения свойств и качеств почвы, имеющая одинаковые общие механизмы осуществления и спектр результатов действия.

Число совмещенности – это число видов деградации почвы, диагностируемых одновременно в одной почве в пределах одного элементарного почвенного ареала.

Степень развития деградации почвы – это сравнительный уровень выраженности отдельного вида деградации почвы к фиксированному моменту времени.

Скорость развития вида деградации почвы – это быстрота изменения степени развития вида деградации почвы.

По мнению Н.Б. Хитрова (1998), для уровня структуры почвенного покрова характерны принципиально новые качества, так как почвенная комбинация представляет собой не просто набор элементарных почвенных ареалов, «а некоторую структуру пространственного размещения...» их, «связанного в единое целое потоками вещества и энергии», а поэтому «на этом уровне возможно существование как совмещенных в одних и тех же ЭПА, так и пространственно разобщенных отдельных видов деградации почвы на разных ЭПА». В связи с этим были предложены следующие понятия и определения для этого уровня организации – структуры почвенного покрова (ПК):

- деградация почвенного покрова;
- степень деградации почвенного покрова;
- распространенность деградированных компонентов;
- скорость распространения деградированных компонентов ПК;
- распространенность деградированных компонентов ПК и скорость распространения отдельного вида деградации почвы;
- распространенность деградированных компонентов ПК и скорость распространения отдельной градации степени развития отдельного вида деградации почвы;
- распространенность деградированных компонентов ПК и скорость распространения некоторого интервала чисел совмещенности;
- комбинация видов деградации почв;

Степень деградации почвенного покрова – это «сравнительный уровень выраженности деградации почвенного покрова (для конкретной почвенной комбинации) как единого целого к фиксированному моменту времени» (с. 2).

Распространенность деградированных компонентов почвенного покрова – это «охват пространства территории, занимаемой элементарными почвенными ареалами в пределах ПК, на которых имеет место деградация почвы» (с. 22).

Скорость распространения деградированных компонентов ПК – это «темпы (быстрота) проявления деградации почвы на новых ЭПА в пределах той же ПК и/или увеличения площади существующих ЭПА, на которых имеет место деградация почвы» (с. 23).

Комбинация видов деградации почв – это «создающая особую «вложенную» структуру организации ПК совокупность видов деградации почвы, встречающихся в компонентах ПК» (с. 23).

Предлагаемая система понятий необходима для получения искомой оценки деградации почвы или почвенного покрова, под которой понимается суждение о качестве и значении «чего-либо, выраженное в виде качественного, полуколичественного или количественного показателя» (Хитров, 1998, с. 23). Из всего спектра оценок, наиболее важными, по мнению Н. Б. Хитрова, являются:

- оценка, инвентаризация земельных ресурсов;
- оценка состояния почв и почвенного покрова;
- дифференциация характера негативного изменения почв и почвенного покрова;
- прогноз изменения состояния и определение риска негативных явлений;
- разработка стратегии и конкретных вариантов рационального (без негативных последствий) и оптимального (наилучшего по заданному критерию) использования почв и земель.

Номенклатура основных подходов получения оценок деградации почвы отражает в определенной мере гносеолого-эвристическую сущность проблемы.

Основные подходы:

- экспертный;
- атрибутивный;
- внутрисистемно-процессный;
- факторно-процессный;
- экономический;
- социально-демографический.

Каждый подход имеет свои особенности и методологическую базу, но общим для всех является обязательное сравнение при оценках деградации с эталоном, выбор которого определяется целью оценки. «Поэтому потенциально возможно использование некоторого множества эталонов... Различия объектов и эталонов, которые следовало бы учитывать для выделения оценок, следующие: 1) пространственно-временные (оценки собственные, аналоговые, нормированные); 2) природно-социально-технологические (оценки абсолютные, относительные, сравнительные 1-го и 2-го ряда» (Н.Б. Хитров, 1998, с. 24).

При интерпретации данных экспертно-оценочных работ необходимо «учитывать меру общности используемых оценок. Дифференциальные оценки учитывают только отдельные стороны явления или используемого понятия. Они необходимы для детализации, но по отдельности не дают общей картины.

Эмерджентные оценки отражают наиболее важные целостные характеристики объекта. Интегральные оценки получают на основе объединения по некоторому правилу дифференциальных и эмерджентных оценок. По своей сути... интегральная оценка должна давать обобщенное суждение об исследуемом объекте в соответствии с используемым понятием. Учитывая, что деградация почвы или почвенного покрова описывается целой системой понятий, необходимо иметь соответствующую систему интегральных и связанных с ними дифференциальных и эмерджентных оценок» (Н.Б. Хитров, 1998, с. 26).

2.2. Социально-политические факторы агрогенной деградации почв

Современное состояние почвенных ресурсов мира является результатом не только их нерациональной хозяйственной эксплуатации, но и материализованным выражением государственной политики и моральных принципов давнего и недавнего прошлого (Дурманов Д.Н., 1998). На протяжении всей эпохи активного вмешательства человека в функционирование окружающей среды менялись только виды, масштабы и темпы агрогенной деградации почв и меры борьбы с нею.

Мировой опыт в разработке стратегии и тактики природоохранной политики убеждает, что реализация принципов устойчивого развития требует эффективного сотрудничества государственного, частного и общественного секторов в лице неправительственных организаций. Эксперты международных организаций единодушны во мнении, что «в аграрной сфере государство должно выступать не в амплуа собственника или основного инвестора, а в роли катализатора, обеспечивая прежде всего создание благоприятной среды для частного предпринимательства и научно-информационное обеспечение экологически сбалансированного развития» (Дурманов Д.Н., 1998). Поэтому решение проблемы охраны окружающей среды нельзя осуществить в отрыве от состояния сельского хозяйства в целом, «... ибо неэффективное производство в принципе не может быть экологичным без крупных дотаций» (Дурманов Д.Н., 1998).

ТЕМА 3

ИНДИКАТОРЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ ЕРРИТОРИИ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

По оценкам экспертов международных организаций наиболее вероятно возникновение опустынивания и засух (деградации почв, почвенного покрова, всех компонентов окружающей среды) на 47,5% суши Земли, причем на 69% этой суши уже деградировано 30% орошаемых земель, 47% богарных и 73% пастбищных. Более чем в 110 государствах мира существует угроза опустынивания (World, 1992). Вместе с тем, в настоящее время в большинстве этих государств отсутствует региональная оценка опустынивания и деградации окружающей среды, единая система мониторинга, раннего предупреждения и контроля.

Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием (1996) в понятие «пустынивание» вкладывает деградацию земель в засушливых, полужасушливых и сухих субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая изменения климата и деятельность человека. Территории, подверженные опустыниванию (деградации), определяются как области, в которых отношение среднего ежегодного уровня осадков к потенциальной эвапотранспирации колеблется в диапазоне от 0,05 до 0,65.

Индикатор опустынивания (деградации) – это название негативного изменения элементов ландшафта или явления, указывающего на наличие этого феномена.

Основной акцент в методологии и системе оценки этого феномена первоначально был ориентирован на Африку. Соответственно, в системе оценок преобладали те, которые наиболее актуальны для этого континента: деградация пастбищ (дефляция, деградация растительности, эрозия), сокращение площадей, занятых древесными сообществами, и деградация последних.

Этот акцент сохраняется и в последних международных документах, где декларируется необходимость изучения опустынивания и на субгумидных территориях. Так, в оценочных шкалах отсутствуют индикаторы и критерии для дифференциации деградирующих земель неорошаемой пашни, территорий с широким распространением почв солонцовых комплексов, аридной и субаридной древесной растительности.

В рамках борьбы с опустыниванием земель приоритетно рассматриваются почвенный и растительный покров – как компоненты, составляющие основу содержания термина «земли». А так как почва является средством производства фитопродукции, то оценка ее деградации смыкается по своей задаче (или по смыслу) с оценкой деградации растительного покрова, то есть в конечном итоге она сводится к оценке снижения биопродуктивности агроландшафтов и лесных угодий.

Соответственно, основным базовым индикатором опустынивания (деградации) мог бы стать показатель снижения запасов (или прироста) биомассы – индикатор конечного результата.

В комментарии Г.С. Куста, Н.Ф. Глазовского и соавторов (2002) отмечается, что в методике United Nations Environment Programme (ЮНЕП – Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде) этот индикатор используется не самостоятельно, а в составе групп других индикаторов. Однако, один такой показатель (ранг 1) не может отразить разнообразия причин и особенностей этих процессов, знание которых необходимо для принятия решений, адекватных природным, хозяйственным и социально-экономическим особенностям различных регионов. Более того, для сельско-хозяйственных земель, находящихся в севообороте, флористические характеристики вообще не имеют смысла. Поэтому вводятся дополнительные индикаторы, среди которых по праву преобладают почвенные.

Индикаторы опустынивания (деградации) второго ранга системы ЮНЕП соответствуют по названиям типов опустынивания (деградации): дефляция, эрозия, засоление орошаемых земель, деградация растительного покрова, тех-

ногенное опустынивание. По содержанию это преимущественно индикаторы непосредственных причин, каждый из которых объединяет группу индикаторов третьего ранга. Например, индикатор опустынивания «дефляция почв» (2-ой ранг) объединяет показатели индикаторов третьего ранга: увеличение площади выдувания, уменьшение задернованности поверхности, увеличение площади подвижных песков и т.д.

Индикаторами третьего ранга являются преимущественно показатели изменений элементов ландшафта (деградация растительности, сокращение проективного покрытия, засоление почв, уменьшение содержания гумуса и т.д.), социально-экономической обстановки (например, вынужденное сокращение поголовья скота).

Помимо системы оценки действующих процессов опустынивания (деградации) в методике ЮНЕП представлен набор индикаторов для оценки предрасположенности территории к появлению этих феноменов (опасность деградации, опасность опустынивания). Критерии опасности засоления почв определяются по глубине залегания грунтовых вод и качеству оросительной воды. Критерии опасности дефляции почв определяются по группе ветродефляционной опасности, скорости ветра, климатическому фактору дефляции. Критерии опасности эрозии почв определяются по морфологическим характеристикам рельефа и устойчивости почв против разрушения каплями дождя и/или стекающими по склонам потоками воды. Критерии опасности деградации растительного покрова определяются по климатическому показателю биологической деградации.

В целом система индикаторов и критериев деградации (опустынивания), разработанная международным сообществом в рамках ЮНЕП, может оказаться применимой в большинстве стран мира с учетом природной и социально-экономической специфики.

Важно акцентировать, что на локальном и/или региональных уровнях решение большинства теоретических и прикладных проблем в почвоведении и земледелии, как и методических аспектов этих проблем, прямо или косвенно связано со степенью изученности пространственной неоднородности состава и

свойства почв. Неоднородность состава и свойств почв во многом определяет то, какую роль играет почва в качестве компонента естественных биогеоценозов, влияет на особенности хозяйственного использования, а также специфику и эффективность мелиоративных, агрохимических, почвоохранных и других приемов сохранения и улучшения почвы.

Пространственная вариация признаков определяет специфику полевого исследования почв, отбора проб и способа их последующего анализа. Не зная пространственной вариации, нельзя корректно судить об изменчивости свойства во времени как в ходе естественно его динамики, так и под влиянием хозяйственной или производственной деятельности человека (Дмитриев Е.А., 1983), даже имея в распоряжении корректные, дифференцированные по зонам индикаторы деградации и опустынивания.

ТЕМА 4

СИСТЕМА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ОПАСНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СУБТРОПИЧЕСКОЙ И ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОН

4.1. Обеспеченность ферраллитных почв азотом

Ферраллитные почвы тропического пояса нуждаются во всех видах удобрений, включая органические, сидеральные и микроэлементы. Вследствие малой емкости сорбции и промывного водного режима удобрения в ферраллитных почвах слабо удерживаются и вносить их желательно под каждый урожай. Азот может быть получен в почвах за счет органических и сидеральных удобрений, бобовых трав в севообороте с добавкой минеральных форм, а для пополнения фосфора и калия требуются главным образом минеральные удобрения. Средние нормы минеральных удобрений под каждый урожай относительно невелики: N – 50-60, P – 30-40 и K – 20-30 кг действующего вещества на гектар посева культуры с большими колебаниями в зависимости от культур и их предшественников (под пшеницу и многие плантационные культуры больше, чем под рис). Однако необходимость внесения удобрений под каждый из 3-4 урожаев создает огромную потребность в производстве минеральных удобрений.

В странах Юго-Восточной Азии эта потребность частично восполняется за счет самых разнообразных форм местных удобрений – навоза, фекалий, органических отходов, обожженной глины, микроскопических водных растений (рис) – азолла (Калифорния, Мексика) и сине-зеленых водорослей (Индия, Япония, Филиппины). За 35 дней выращивания азоллы на одном гектаре накапливается до 1700 кг сухой массы содержанием азота 52 кг. Накопление азота за счет деятельности сине-зеленых водорослей составляет 40-80 кг/га.

Следует особо обратить внимание на ряд генетических и агрономических свойств ферраллитных почв тропического пояса в отношении вещественного состава и состояния коллоидного комплекса.

Азот в ферраллитных почвах не находится в первом минимуме в силу того, что в них нередко содержание гумуса составляет 3-4%, а отношение C:N изменяется в интервале 8-14, то есть на 8-14 частей углерода органического вещества приходится одна часть азота. Но это валовый азот, он не весь доступен растениям. В ферраллитных почвах содержание валового азота превышает 0,3%. Но доступный азот поступает из минерализующегося органического вещества и из атмосферы (при грозах в тропических почвах может накапливаться 30-40 кг N на га) Ассоциативные микроорганизмы, проживающие вместе с высшими растениями, усваивают азот атмосферы и переводят его в связанную форму, снабжая растения N. Свободно живущие микроорганизмы много фиксируют азота, обогащая им почву.

Из многих почв тропического пояса азот может улетать. Например, внесенная в почву мочевины спустя 1-2 месяца теряется при поверхностном внесении на 50% вследствие ее испарения. Второй опасностью в тропической системе азотных удобрений является их испарение. Сократить потери азота удобрений можно за счет их дробного внесения в зависимости от генетических и агрономических свойств.

Одним из радикальных методов, направленных на сокращение потерь азота из почв тропического пояса, является применение ингибиторов, – веществ, которые подавляют или замедляют жизнедеятельность микроорганизмов, участвующих в процессах превращения азота. Однако остаются опасения, что применение ингибиторов резко снижает биогенность почвы и приводит к полному уничтожению определенных групп микроорганизмов.

4.2. Обеспеченность ферраллитных почв тропического пояса зольными элементами

Калий. Ферраллитные почвы по-разному обеспечены калием, но в целом они бедны им вследствие вымывания как валового, так и обменного К. Но ферраллитные почвы могут развиваться на породах, обедненных калием (элювий кварцитов, элювий гранитов) или богатых им (слюды, элювий слюдистых сланцев). В целом ферраллитные почвы испытывают дефицит калия, размеры которого целесообразно устанавливать по методу Шолленбертера или близкому к нему методу Маслова.

Магний. Ферраллитные почвы относятся к группе почв, обедненных магнием. Это обуславливается сильной выщелоченностью кор выветривания в тропических областях. Оптимальный магниевый режим ферраллитных почв принято оценивать величиной соотношения Са: Mg, равной 5:1 (на 5 частей кальция приходится одна часть магния).

Кальций. Дефицит кальция в ферраллитных почвах тропического пояса менее острый, чем дефицит магния. Тем не менее почвы нуждаются в контроле за режимом кальция, а при необходимости и в мелиоративных мероприятиях по его регулированию.

Сера. Ферраллитные почвы тропического пояса бедны серой. Проблема острого дефицита серы, особенно в странах Африки, стала усугубляться в связи с использованием концентрированных фосфорных удобрений с низким содержанием балласта – кальция и серы.

Фосфор. Для ферраллитных почв тропического пояса прежде всего важно оценивать и регулировать фосфатный режим. Часто эти почвы могут быть обеспечены азотом и калием, но никогда не могут быть обеспечены фосфором в силу того, что большая часть валового фосфора в них находится в недоступной для растений форме. Ретроградация фосфатов является характернейшей особенностью ферраллитных почв, минеральная основа которых обогащена несиликатными соединениями железа и алюминия. Ретроградации (переход из рас-

творимого состояния в нерастворимые соединения) подвергаются не только почвенные фосфаты, но и фосфаты минеральных удобрений, вносимых под возделываемые культуры. Наибольшая сорбция (фиксация) фосфатов почв и удобрений зависит не только от количества железа и алюминия, но и от состояния коллоидного комплекса, кислотности свойств почвы и форм соединений сорбентов. Оксидные соединения сорбентов (железо, алюминий) обладают незначительной фиксацией фосфора. Наоборот, гидратированные формы сорбентов (например, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) обладают высокой фиксирующей способностью по отношению к фосфору. Вследствие этих различий желтые ферраллитные почвы обладают большей фиксирующей способностью фосфора, чем красные ферраллитные почвы. Конкреционность почв обуславливает снижение фиксирующей способности по отношению к фосфору.

Фиксация фосфора в почвах заканчивается, когда все фиксирующие узлы, представленные алюминием и железом, насыщаются им. Это может быть достигнуто в условиях применения очень высоких доз фосфорных удобрений. Локальное внесение удобрений также способствует уменьшению ретроградации фосфатов, тем самым снижая удельные затраты материально-денежных средств на производство продукции.

Эффективным и доступным способом регулирования фосфатного режима ферраллитных почв тропического пояса является прием опережающего внесения в них органических удобрений, продукты превращения которых блокируют фиксирующие фосфор центры или соединения, которые могут связывать его. Последующее внесение фосфорных удобрений сопровождается сохранением содержащегося в них фосфора в доступном для растений состоянии.

Внесение концентрированных фосфорных удобрений, как один из широко распространенных способов регулирования фосфатного режима ферраллитных почв в земледельческой практике стран тропического пояса, считается наиболее приемлемым в системе агрохимического мониторинга.

Среди других способов регулирования фосфатного режима заслуживают внимания приему блокировки фиксирующих фосфор центров, при которых в

почвы вносятся силикаты, цитраты, оксалаты, арсенаты и другие химические соединения, снижающие фиксацию фосфора.

Микроэлементы. Дефицит микроэлементов является характерной чертой ферраллитных почв тропического пояса. В числе первых микроэлементов, находящихся в почвах на уровне острого дефицита, называется железо, несмотря на высокое содержание в них валового железа.

4.3. Проблемы ирригации в практике землепользования в странах тропического пояса

Проблемы ирригации в странах тропического пояса дифференцируются в зависимости от режима атмосферных осадков. В аридных и субаридных областях тропического пояса их можно отнести к категории общепланетарных, обусловленных типом хозяйствования, дефицитом пресной воды, фильтрационными потерями воды из транспортирующих и распределительных каналов и элементов оросительной сети, подтоплением и заболачиванием территорий, сопровождающимися изменением их санитарного статуса, ирригационной эрозией, инициированием процессов деградации почв и ландшафтов. Решение частных вопросов этих проблем укладывается в стандартные технологические схемы, реализуемые в том или ином объеме в условиях обводнительных и оросительных мелиораций.

Проблемы ирригации в переменнно-влажных и влажных областях тропического пояса обуславливаются огромной массой воды ливневых дождей. В большинстве случаев технико-экономическое обоснование системы ирригации и ее конструктивное воплощение в натуре должны отвечать принципу двойного регулирования. Ирригационные каналы должны обладать высокой пропускной способностью в период ливневых дождей, наличие дренажной системы призвано обеспечивать оптимальный вводно-воздушный режим почв в период многоводья, а искусственные водохранилища – в максимально большем объеме аккумулировать воду для орошения культур в сухие сезоны года.

4.4. Проблемы охраны почв тропического пояса от эрозии и дефляции

Анализ проблемы земельных ресурсов мира в связи с ростом населения и увеличением потребности в сельскохозяйственных продуктах показывает, что в результате хищнического использования земель уже выбыли из строя огромные сельскохозяйственные территории. По оценкам западных экспертов, за последнее столетие эрозия и дефляция уничтожили около 2 млрд га, что составляет примерно 1/7 часть суши.

Защита почв от эрозии и дефляции является одним из важнейших условий прогрессивного роста урожайности возделываемых культур, охраны и рационального использования земельных ресурсов планеты.

Защита почв от эрозии имеет большое значение для всех стран мира, являясь важным звеном в проблеме охраны и рационального использования земельных ресурсов. Эрозия не только снижает плодородие почв на склонах и разрушает землю растущими оврагами, но и во многих случаях она активизирует процессы дефляции, оползней, осыпей, обвалов, просадок, селей, абразии, подъема уровня грунтовых вод (при росте русловых наносов), засоления и др.

В результате интенсивной дефляции наветренные склоны теряют огромные массы дисперсного материала, а подветренные участки земель с плодородными почвами оказываются погребенными навеем менее плодородным материалом.

Кроме огромного ущерба, который эрозия и дефляция почв наносит постоянно земельным ресурсам, они отрицательно влияют на водные, воздушные, флористические и фаунистические ресурсы. Поэтому программы мелиорации в странах тропического и субтропического поясов должны содержать технико-экономические обоснования по осуществлению комплекса мероприятий, направленных на предупреждение эрозии и дефляции, постановлению плодородия эродированных и дефлированных почв, освоению сильноэродированных и дефлированных земель. В разных странах этих поясов в зависимости от природных условий региона, хозяйственного использования земель в прошлом и

направления перспективного развития противоэрозионный и противодефляционный комплексы должны удовлетворять требования принципов экономической эффективности, технологической простоты и доступности, экологической безопасности и социальной безопасности.

4.5. Проблема латеритообразования в почвах ландшафтов тропического пояса

Среди многих проблем тропического почвоведения важнейшее значение, кроме эрозии, обнажающей малопродуктивные горизонты коры выветривания или плинтита, имеют феномены конкрецитообразования и латеритообразования.

Во многих странах тропического пояса минералы группы оксидов и гидроксидов железа, кремнезема, алюминия, марганца образуют мощные пласты – латеритные панцири. Латеритные панцири характеризуются очень высокой прочностью; в силу этого специалисты разных стран, давая им название, подчеркивали это свойство («крепкая кора» – в английской литературе; «твердый панцирь» – в немецкой и «кираса» – во французской литературе). Латеритные панцири залегают на ровных, горизонтальных или очень слабо наклоненных поверхностях. Их положение над уровнем моря изменяется в очень широких пределах – от единиц до нескольких тысяч метров. Например, железистые панцири на островах Карибского моря (о. Пинос), в прибрежных районах обнаруживаются на равнинах, расположенных на высоте 5-10 м над уровнем моря. В горах юго-западной Уганды (Восточная Африка) панцири бронируют поверхности на высоте более 2400 м над уровнем Индийского океана.

При разрушении панцирей обломки их различной формы и различного размера образуют скопления глыб, валунов, щебня, галечника, дресвы, гравия и песка. Скопления этих обломков в зависимости от геоморфологических условий формирования могут находиться в отдельно-фрагментарном состоянии или быть сцементированными оксидами железа. Например, поверхность широкой низменной равнины к востоку от Главного водораздела (Восточная Афри-

ка), по которой течет река Кафу, на много километров покрыта скоплениями почти не сцементированных окатанных обломков латеритных панцирей.

Элювиальные коры выветривания магматических и метаморфических горных пород тропической зоны на различной глубине могут включать различной мощности как плотные сцементированные слои латеритов (кирасы), так и слои несцементированных железистых, железисто-марганцевых, железисто-кварцевых или бокситовых конкреций. Очень часто почвообразование осуществляется именно непосредственно на латеритах или на толщах несцементированных конкреций. Как в первом, так и во втором случаях формируются или конкреционные почвы, или отдельные горизонты, характеризующиеся чрезмерно высоким содержанием конкреций различного вещественного состава. В частности, по данным исследований Б.В. Тимофеева с соавторами (1987), железистые тропические лессивированные почвы останцевого плато Бадала-Бугу (Мали) содержат следующее количество конкреций крупнее 1 мм:

A, cп 0-16 см	64-75% от массы почвы.
A1B, cп 16-30 см	58-66% от массы почвы.
Box ₁ , cп 30-65 см	67-69% от массы почвы.
Box ₂ , cп 65-100 см	69-72% от массы почвы.
BC 100-145 см	65-68% от массы почвы.

Роль железоконкреций проявляется на всех показателях почв. Отметим экстремально высокую плотность сложения конкреционных почв, некоррелирующую с высокой пористостью. В частности, плотность сложения почвы, обогащенной конкрециями, характеризуется в горизонтах A, cп – A1B, cп – Box₁, cп – Box₂, cп – BC соответственно показателями: 1,63; 1,62; 1,82; 2,00 и 2,05 г/см³. При этом не выявляется и строгого соответствия между уменьшающейся в составе горизонта доли конкреций и увеличивающейся плотностью их сложения.

Педогенетическая роль железоконкреций может быть оценена в результате анализа химико-аналитических показателей.

Следует отметить, что:

1) содержание гумуса в конкреционной почве в 2,9-3,3 раза ниже, чем в мелкоземе этой же самой почвы;

2) кислотность мелкозема (pH_{H_2O}) на 0,30-0,53 единицы pH ниже, чем соответствующие показатели для дробленых конкреций, а разница показателей величин обменной кислотности (pH_{KCl}) достигает 0,41-1,09 единиц pH .

При этом очевидна одна закономерность: вниз по профилю различия в показателях актуальной кислотности уменьшаются или вообще не выявляются, тогда как различия обменной кислотности характерны для всего профиля.

Результаты нашего анализа этой закономерности позволяют гипотетически предположить, что:

1) концентрация кислотоопределяющих катионов (H^+ и/или Al^{+++}) в водных суспензиях мелкозема разрушающегося древнего латерита (кирасы) и железоконкреций одинакова;

2) концентрация этих же катионов в солевых суспензиях (pH_{KCl}) мелкозема в 5-10 раз выше, чем в солевых суспензиях дробленых железоконкреций. То есть, при разрушении кирасы существенно возрастает обменная кислотность в мелкозем. По аналогии можно предполагать увеличение поглотительной и обменной способности мелкозема и по отношению к другим катионам.

В странах Западной Африки распространены панцири, состоящие преимущественно из Оксидов алюминия. Они разрабатываются в качестве бокситов. В Южной Родезии и Гане известны панцири, состоящие из оксидов марганца. Во многих странах Африки латеритные панцири чисто железистые и содержат этого металла так много, что они были основной базой кустарной выплавки железа. В разных районах континента местное население задолго до проникновения европейцев пользовалось этими источниками железа (В.В. Добровольский, 1977).

Химический состав конкреций и латеритных панцирей, встречающихся в почвах различных таксономических рангов, сильно варьируется. Например, по результатам валового химического анализа конкреций, отобранных из различных горизонтов почв различного таксономического ранга острова Куба, в со-

став конкреций входят многие химические элементы. При этом содержание оксида железа может варьировать от 5,98 до 63,7%, оксида кремния – от 9,09 до 59,95%. В более узком пределе варьируется содержание алюминия (от 5,37-до 19,37%), щелочных и щелочноземельных оснований. Обращает на себя внимание высокое содержание валового фосфора в конкрециях почв острова Куба.

По оценкам экспертов ФАО – ЮНЕСКО, вследствие неправильной агротехники и поверхностной эрозии несколько миллионов гектаров тропических пашен покрыты латеритными панцирями и для их возвращения сельскому хозяйству требуются специальные приемы рекультивации. Чтобы не допустить образования поверхностных латеритных корок, следует избегать пересыхания некоторых ферраллитных почв и вносить в них органические удобрения. Во избежание выхода на дневную поверхность глубинных латеритных слоев необходима система мер по охране земель от эрозии.

Латерит является важным ограничивающим фактором в первую очередь для многолетних древесных культур, сахарного тростника, бананов, гевейи, кофейного дерева, какао. Все эти культуры, за исключением гевейи, очень требовательны к почвенным условиям, и особенно к глубине залегания латерита.

Для физико-географической зоны влажных и переменно-влажных тропиков на современном этапе первостепенную опасность представляют «ползу-чее», «скрытое» опустынивание, выражающееся в снижении функций биоты в экологическом квазиравновесном цикле.

Основными факторами опустынивания являются эрозия почв и выжигание растительности, обусловленные деятельностью человека.

Суммарным эффектом эрозии и пожаров является:

- переустройство структуры почвенного покрова и возрастающая роль в ее составе компонентов более низкого бонитета по сравнению с природными почвами и квазиравновесными ландшафтами;
- обнажение коры выветривания или литомаржа горных пород, массивно-кристаллических пород, латеритных слоев;
- формирование ареалов экопочв;

- затухание естественной продуктивности ландшафта, сжатие функций биоты, нарушение устойчивости природной среды вследствие снижения энергии биологического круговорота веществ и возрастающей роли геологического круговорота;

- деградация или полное уничтожение фитоценозных, микробных и зоогенных компонентов как результат постоянно инициируемых человеком пожаров в саваннах и лесосаваннах;

- главный, аддитивный, ущерб от эрозии и пожаров падает на педосферу, которая развивалась и функционировала в условиях иных природных взаимосвязей и взаимообусловностей всего комплекса биологических компонент;

- потеря или снижение устойчивости почв, почвенного покрова и ландшафта.

Сложение процессов и следствий эрозии и пожаров (уничтожении биоты) определяют возникновение опустыненных ландшафтов, их расширение до локального или регионального масштабов.

Имеющиеся в научной литературе и материалах международных экологических конгрессов данные в отношении Северо-Африканского региона о «наступлении» пустыни Сахары на саванны Сахеля, вероятно, не имеют климатической природы. Опустынивание – есть результат снижения функций биоты вследствие деградации почвенно-растительного комплекса и сжатия барьерного буферного пояса. Не случайно, фронтальная граница расширяющейся на юг пустыни имеет изломанную линию, часто напоминающую зубья гигантской пилы.

Защита почв от деградации не только исключительно важная природоохранная задача, но и сложная научно-техническая проблема. Для ее успешного решения необходима подготовка специалистов разного профиля и разного уровня, обладающих комплексом междисциплинарных знаний и методологических основ оценки, диагностики и управления окружающей средой, с целью придания ей квазиустойчивого состояния.

ТЕМА 5

ОСНОВЫ ЛАНДШАФТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИИ ВОДНЫХ БАССЕЙНОВ

5.1. Концептуальные принципы единой государственной почвенной политики – основа рационального использования, охраны и повышения продуктивности почвенного покрова

В результате нерационального хозяйствования почва может быстро утрачивать свой природный потенциал.

Экспертами по земельным ресурсам мира предлагается система принципов управления почвенным плодородием, в основе которой должна лежать национальная политика в использовании земельных ресурсов. Национальная политика – это система взаимосвязанных принципов государственного подхода к решению проблемы земельных ресурсов, учитывающая социально-экономические и природно-экологические факторы (Розанов Б. Г., 1984).

В качестве принципов государственной национальной почвенной политики Б.Г. Розанов (1984) выделяет следующие.

1. Общественное владение, пользование и управление земельными ресурсами, обеспечивающее плановое распределение земли для тех или иных нужд общества и плановость всех мероприятий по рациональному использованию и охране всех видов земельных ресурсов:
2. Детальное почвенно-экологическое и почвенно-мелиоративное районирование всей территории конкретной страны.
3. Детальное районирование систем контроля и управления почвенным плодородием в земледелии.
4. Приоритет внедрения интенсивных технологий на пашнях, пастбищах и сенокосах вместо экстенсивных методов землепользования.

5. Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий в природопользование.

6. Паспортизация землепользования.

7. Разработка и внедрение модельных экологически безопасных систем почвенного плодородия.

8. Создание государственной системы почвенного мониторинга.

9. Формирование и введение государственного правового законодательства, призванного ограничивать произвол природопользователя и возлагать ответственность за причиненный ущерб.

Предложенный реестр системы взаимосвязанных принципов подхода к решению проблемы земельных ресурсов не является универсальным шаблоном для стран различных природных зон. Рациональнее его рассматривать в качестве формализованной матрицы концептуального подхода к проблеме экологически безопасного природопользования.

Совершенно очевидно, что мелкоконтурное землепользование, имеющее широкое распространение в условиях частной собственности «на землю в любой ее форме служит непреодолимым препятствием рациональному использованию и эффективной охране почв» (Розанов, 1984, с. 269).

Почвенно-экологическое и почвенно-мелиоративное районирование предполагает точное и строгое обоснование необходимых мелиораций и перспектив социально-экономического развития всех выделов земель в пределах каждой конкретной территории, в строгом соответствии с экологическим разнообразием и ее природным потенциалом, исходя из экономических потребностей и возможностей страны.

Районирование систем контроля и управления почвенным плодородием в земледелии должно находиться «в соответствии с почвенным районированием и применительно к зонально-районированным системам сельскохозяйственного производства...» (Розанов, 1984, с. 271).

Зонально-районированные системы сельскохозяйственного производства должны включать, кроме научно-обоснованной организации территории, ком-

плекс системных мер по устранению лимитирующих продуктивность почв факторов (эрозия и дефляция, избыточное или недостаточное увлажнение, избыточная кислотность или щелочность, засоление, солонцеватость, слитость, каменистость, выпаханность пашен, распыленность, коркообразование, кирасообразование, загипсованность, просадочность и др.) и поддержанию в оптимальных лимитах окислительно-восстановительного, водного, воздушного, питательного, солевого, гумусового, биологического и теплового режимов.

Неотъемлемым звеном зонально-районированных систем сельскохозяйственного производства в местном, региональном и государственном масштабе является охрана почв от эрозии, дефляции, засоления, дегумификации, истощения, загрязнения тяжелыми металлами, пестицидами и другими химическими веществами и радионуклидами.

В ряде регионов различных природных зон, характеризующихся маломощностью почв и неконсолидированной корой выветривания, зонально-районированные системы сельскохозяйственного производства должны включать инженерно-мелиоративные мероприятия, направленные на усиление процессов выветривания или механического разрушения консолидированных горных пород (песчаники, сланцы, латериты, карбонатные коры, туфы и т. д.) с целью формирования рыхлого слоя мелкозема, удовлетворяющего физиологические потребности возделываемых сельскохозяйственных, пастбищных и лесных культур в воде и элементах зольного питания.

Принцип приоритета вложения материальных, производственно-технических и интеллектуальных капиталов в уже освоенные земли призван придать ландшафтам местного, регионального или государственного масштаба экологически безопасное квазиравновесное состояние и стать барьером на пути экстенсивных технологий в землепользовании (расширение посевных, сенокосных, пастбищных угодий за счет вырубки лесов, уничтожения природных целинных земель, внедрения «кочующих» форм земледелия и т. д.), являющихся пусковым механизмом в развитии антропогенного опустынивания территорий.

Принцип внедрения в природопользование ресурсосберегающих технологий предполагает всеобъемлющий характер диагностики, апробации и эколого-энергетической оценки всего цикла системного взаимодействия природопользователя с элементами окружающей среды.

Многообразие взаимодействий и взаимовлияний в сфере сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства преломляется через затраты материальных средств (удобрения, горючее, машины, оборудование, сооружения, электроэнергия и т. д.), природных и антропогенно-природных ресурсов (вода, атмосфера, животные, растительность, человек, почва, недра и т. д.) и состояния элементов окружающей среды. Малая эколого-энергетическая эффективность осушительных, обводнительных, оросительных, санитарных, культуртехнических, фитотехнических, химических, и агротехнических мероприятий является следствием осознанного или стихийного игнорирования системной диагностики и оценки взаимовлияний и взаимодействий человека и элементов окружающей среды. Ведомственная ограниченность, политическая амбициозность и ангажированность часто становятся непреодолимым и определяющим препятствием в реализации данного принципа.

Принцип паспортизации землепользования предполагает текущую и перспективную оценку каждого земельного участка с учетом его природного потенциала, направления его хозяйственного использования, видов и объемов мелиоративных мероприятий, необходимых для безопасного функционирования ландшафта, поддержания и воспроизводства плодородия почв. Технологическая карта землепользования является средством не только оперативного управления состоянием ландшафта, но и основополагающим документом для ресурсного обеспечения природоохранного комплекса страны (расчет потребности научного и технического персонала, специально приборной базы, материально-технических средств, семян, удобрений, химических средств защиты, питомников, оборудованных спецлабораторий и т. д.)

Технологическая карта для пашен должна быть ориентирована на модульный принцип смены культур.

Модульный принцип смены культур предполагает введение севооборотных модулей (кормовой, продовольственный, почвенно-восстановительный, технических культур).

Севооборотные модули формируются в зависимости от потребности хозяйств в той или иной продукции, от состояния агроэкосистем в целом, технической вооруженности, энергетической обеспеченности, экономической и социальной целесообразности.

За обязательное звено (модуль) в севооборотах всех направлений принимаются многолетние бобовые травы (люцерна), люцерно-кострецовые травосмеси, однолетние бобовые (тригонелла, чина, сераделла, фацелия, бобы) культуры.

Модуль продовольственных и технических растений может быть представлен колосовыми зерновыми, просом, сорго, горчицей, гречихой, чечевицей, горохом мозговых сортов, фасолью, соей, канатником, клещевиной, рапсом и т. д.

Экологически безопасные модели почвенного плодородия, создаваемые для каждого земельного участка, предполагают определение путей регулирования управляемых почвенных параметров в целях достижения их оптимального состояния. Оценке, а при необходимости и оптимизации подлежат все регулируемые параметры состояния почвенного покрова: структура почвенного покрова, водно-физические, физико-химические, химические, тепловые, воздушные свойства и режимы, включая окислительно-восстановительный, водный, гумусовый и питательный. При этом регулирование и оптимизация параметров состояния почвенного покрова должны осуществляться с соблюдением принципов эколого-энергетической целесообразности, экологической безопасности и экономической оправданности.

Обнадеживающей перспективой обладает модель плодородия почв, предложенная Кармановым И.И (1985а; 1985б; 1988). В основе этой оценки лежат почвенно-экологические индексы, рассчитываемые на основании свойств почв и климатических показателей.

Но результаты выполненного нами дисперсионного анализа указывают, что модель плодородия почв, предложенная Кармановым И.И., имеет принципиальное значение для сравнительной оценки почв крупных регионов различных природно-географических зон. Для локальных же условий на уровне конкретных севооборотов или полей данная модель не учитывает особенности вида или сорта растений и роли агротехнических приемов в формировании эффективного плодородия.

Мониторинг – это система регулярных длительных наблюдений за состоянием окружающей среды с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза изменения в будущем ее параметров.

Система почвенного мониторинга предполагает хорошо разработанную теорию почвенно-экологического обеспечения, методы и контролируемые показатели, дифференцированные по природным зонам.

Главной идеей системы мониторинга является создание условий научно-технического прогресса в современной экологии для замены девиза «выявлять и устранять» на «предвидеть и упреждать». Данный подход находится в полном соответствии с требованиями комплекса критериев, реализуемых в мировой науке при оценке любых новаций в природопользовании: технологическая осуществимость, экономическая эффективность, экологическая допустимость и социальная целесообразность. По оценкам экспертов международных организаций эта многокритериальность призвана ограничить технократический произвол и нейтрализовать приоритет локальных или временных выгод. Совершенно очевиден факт, что прогресс в технологии не ограничивает возможности воздействий на природную среду, а требования экономики и экологии должны их сужать до рациональных пределов, до признания реальной системной сложности почвы и агроландшафтов и необходимости познания закономерностей их регуляции.

Основные тенденции изменения почвенного покрова земли воздействием человека отражают утилитарное предназначение почвенно-экологического мониторинга, включающего:

- физическую деградацию
- дегумификацию
- эрозию и дефляцию
- опустынивание
- ускоренную денудацию и разрушение горных экосистем
- засоление
- заболачивание
- истощение
- химическое и радиоактивное загрязнение почв и воды
- истощение водных ресурсов
- пастбищную дигрессию
- снижение функций биоты
- выпадение кислотных атмосферных осадков

Экологический мониторинг (наблюдение, контроль и прогноз состояния среды) предполагает оценку изменений в экосистемах, происходящих в результате деятельности человека. Роль почвенного мониторинга обуславливается тем, что все изменения в атмосфере, гидросфере и биосфере отражаются на составе, свойствах, режимах и плодородии почв.

Общие принципы организации мониторинга международного и национального уровней и задачи, решаемые им, включают основополагающие концептуальные и прикладные идеи и пути их реализации. Главные из них:

- определение и оценка изменений структуры, функционирования и динамики естественных, измененных и контролируемых экосистем;
- разработка путей и средств измерения количественных и качественных изменений окружающей среды в целях определения научных критериев, которые могли бы служить основой для рационального использования естественных богатств и охраны природы;
- развитие моделирования и других методов прогнозирования в качестве инструмента изучения окружающей среды и ее рационального использования.

Эффективное решение этих комплексных задач требует не только ресурсных затрат, но и совершенствования системной методологии, гносеологии и эвристики. Самым слабым звеном в означенной триаде являются проблемы эвристики – метода анализа явлений и процессов, основанного на интуиции, опирающегося на способность человека решать задачи, для которых формальный математический способ решения не известен.

Комплексная система почвенного мониторинга должна реализовываться на трех уровнях: мониторинг состояния почвенного покрова, мониторинг состояния почв, мониторинг деградации почв.

Цели почвенного мониторинга определяются изменениями почв, возникающими при антропогенных прессингах.

По мнению экспертов, для методологии почвенного мониторинга характерны приемы исследований, применяемые в науке. Природная среда, как сложная система взаимосвязанных компонентов, может быть охарактеризована на основе принципов и методов ландшафтно-геохимических и почвенно-химических исследований (полевые почвенно-картографические, геоботанические, специальные режимные исследования, полевые опыты, лабораторные анализы и моделирование, статистический анализ, синтез и прогноз и т. д.).

Следует особо отметить, что на пути практической реализации почвенного мониторинга следует ожидать существенные трудности, предвидеть которые частично можно заранее. В частности, для экспертов и исследователей проблем деградации почв и почвенного покрова очевидную проблему представляют «чистые» эталоны, на основе характеристик которых формируется корректная прогностическая база для управления землепользованием.

Оценка антропогенного прессинга на почвы и почвенный покров, выявление устойчивости их от деградации в условиях сложившегося типа природопользования, разработка теории по сохранению и/или воссозданию их функции в окружающей среде требуют решения следующих задач:

1. Выявление и обоснование типичности функционирования педосферы на современном этапе природопользования.

2. Выявление агентов антропогенного прессинга на педосферу (эрозия, засоление, элювиально-глеевое преобразование, дигрессия растительности).

3. Выбор эталонов почв, почвенного покрова, типа хозяйствования, отвечающих требованию квазиравновесного состояния природной, природно-антропогенной и антропогенной среды.

4. Комплексный анализ квазистабильности, устойчивости и динамики процессов и всех уровней структурной организации почв.

5. Выявление качественных и количественных изменений педосферы, обусловленных антропогенным прессингом.

6. Поиск, апробирование и оценка оптимальных мероприятий, направленных на предотвращение интенсификации нежелательных (негативных) процессов, устранение их следствий, повышение устойчивости педосферы.

Содержательная часть специальных задач почвенного мониторинга, выполняемого на локальном, региональном и глобальном уровнях различается, хотя общая их цель одна – своевременное обнаружение неблагоприятных изменений свойств почв при различных видах их использования.

Комплексное почвенное обследование при мониторинге предполагает использование совокупности приемов исследования свойств почвы как самостоятельного естественно-исторического тела природы. Методология, методы, технические средства, оборудование, методы анализа и синтеза полученной информации являются приоритетом каждой национальной школы и во многом обусловлены экономической мощью, политической ответственностью, экологической культурой народа.

Тем не менее, использование почв должно являться центральным звеном государственной политики каждого национального государства, поскольку состояние почв определяет характер жизнедеятельности человечества и оказывает решающее воздействие на окружающую среду.

ТЕМА 6

ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ

Эрозия почв

Эрозия почв является антропогенным общепланетарным феноменом на современном этапе функционирования биосферы.

Наука, изучающая этот феномен называется эрозиоведением, имеющим свои методологические основы, методы исследования эрозии и оценки опасности ее проявления в различных природных зонах. Важными составляющими науки являются социальные, экономические и экологические последствия эрозии, методические основы экологической и технологической экспертизы по проблеме эрозии почв в различных природных зонах (М.Н. Заславский, 1979, 1983).

Составляющими науки являются разделы:

- анализ земельных ресурсов, природных и антропогенных воздействий на земельные ресурсы различных природных зон;
- выявление взаимосвязи между почворазрушающими процессами, их влияния на увеличение эрозионной опасности земель и интенсивность проявления эрозии в различных природных зонах;
- плодородие эродированных почв в различных природных зонах;
- экономически оправданные, экологически безопасные и социально целесообразные технологии по воссозданию функций биоты в различных природных зонах.

Детализация феномена требует усилий в направлении получения информации по следующим вопросам:

- характеристика почвообразующих процессов в различных природных зонах;
- виды и формы проявления эрозии, методология и методы полевой диагностики степени ее проявления в различных природных зонах;

– методологические основы оценки экономического и экологического ущерба от эрозии почв и разрушения почвообразующих пород в различных климатических зонах;

– концептуальный прогноз по устойчивости педосферы в условиях традиционного и инновационного землепользования.

Эрозия почв (от лат. *erosio* — разъедание) является наиболее распространенной из всех видов их деградации. Она приносит громадный экономический и экологический ущерб, так как угрожает самому существованию почвы как основному средству сельскохозяйственного производства и незаменимому компоненту биосферы. По данным Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992) вклад водной эрозии в разрушение почв составляет 56%, а дефляции – 28%. Эрозии почв подвержены все континенты за исключением Антарктиды.

Эрозия почв получила распространение в последние 100-150 лет в результате вырубки лесов и чрезмерной распашки земель, которые привели к повышению сухости климата, а также под влиянием нерациональных систем земледелия и пастбищного скотоводства (перевыпас).

В Российской Федерации 57% сельскохозяйственных угодий являются эрозионно-опасными и эродированными, в том числе 65% пашни (по состоянию на 1 января 1996 г.).

По мере развития земледелия, масштабы распространения и интенсивность эрозии возрастали, а последствия становились все более разрушительными для почвенного покрова и стали угрожать существованию человечества, чем и привлекли к себе пристальное внимание. В последние десятилетия изучение эрозионных явлений обособилось в новую ветвь научного знания – эрозиоведение.

Водная эрозия – это разрушение почвенного покрова под действием поверхностных водных потоков, проявляется в плоскостной и линейной форме. Плоскостная эрозия почвы проявляется в виде смыва поверхностных горизонтов почв. Линейная представляет собой размыв почв и подстилающих пород и проявляется в виде формирования различного рода промоин и оврагов.

Необходимым условием возникновения водной эрозии является поверхностный сток. Различают три основных вида поверхностного стока: дождевой, талый и сток поливной воды (при орошении). Им соответствует три вида эрозии почв: дождевая, эрозия при снеготаянии и ирригационная.

Эрозия при снеготаянии характеризуется большой длительностью процесса, охватывает большие территории, но, как правило, отличается небольшой интенсивностью, так как в период снеготаяния почва большую часть времени находится в мерзлом состоянии и не поддается сносу.

Дождевая эрозия, продолжительность ее воздействия измеряется часами и минутами. Однако количество смываемой почвы при этом больше, чем при снеготаянии, и достигает 10-100 т/га за год.

Разрушение почв происходит по двум причинам: в результате смыва и размыва почв потоками стекающих по поверхности вод, не успевших впитаться в почву, и вследствие разрушения почвенных агрегатов каплями дождя. Мощность размывающего потока поверхностных вод зависит от интенсивности дождя и его продолжительности, а также от длины склона и других факторов. Разрушающее воздействие дождя на почвенные агрегаты определяется количеством капель, поступающих в единицу времени, и их размерами. Чем крупнее капля, тем большей кинетической энергией она обладает, и тем большее разрушение она причиняет.

Ирригационная эрозия возникает при орошении. В зависимости от способа орошения она делится на подвиды: эрозия при поливе по бороздам, при поливе по полосам, по чекам, при поливе дождеванием.

При разных способах полива количество сносимой почвы существенно различается. Наименьшая эрозия наблюдается при поливе дождеванием и по чекам, а наибольшая – при поливе по бороздам, когда она может быть намного больше, чем снос почв при дождевой эрозии и снеготаянии.

По форме проявления различают поверхностную (плоскостную) эрозию, или смыв почвы; струйчатую эрозию; размыв почвы, или овражную эрозию.

Результаты проявления этих форм эрозии можно видеть на отдельных массивах земель, но часто они наблюдаются совместно.

Плоскостная (поверхностная) эрозия наблюдается на выровненных склонах, характеризующихся равномерным распределением стока. Она приводит к равномерному по территории смыву почвы. В результате происходит «срезание» верхних плодородных слоев и укорачивание профиля почв.

Скорость роста гумусового горизонта в среднем считают 0,2 мм/год, или 2-3 т/га в год, ее считают нормальной. При потере почвами 3-6 т/га в год эрозию относят к слабой, при потере 6-12 т/га в год - к средней, > 12 т/га в год - к сильной.

Струйчатая эрозия возникает в том случае, когда по склону сток перераспределяется и образует струи разной интенсивности, приводящие к появлению промоин и рытвин глубиной до 0,5 - 1 м.

Овражная эрозия – форма линейной эрозии, когда промоины достигают глубины более 1 м и при их наличии поля сплошной сельскохозяйственной обработке не поддаются.

Явление смыва почв связано с отрывом от поверхностного слоя отдельных частиц и целых агрегатов. Механизм смыва почв можно представить как взаимодействие силы потока, действующего на частицу, с силой сцепления частицы с почвой. Эродирующая сила потока, действующего на частицу, зависит от скорости потока, толщины слоя воды и отношения массы частицы к площади ее поперечного сечения.

Сила сцепления почвенной частицы зависит от плотности частицы и прочности ее связи с другими частицами, на которую влияет содержание в почве коллоидов и многие другие факторы.

В распространенных уравнениях для размывающей силы потока толщина слоя воды обычно не указывается. Однако сила бокового давления на частицу в приземном слое воды при одной и той же скорости будет возрастать по мере увеличения движущейся массы воды.

Скорость водного потока, при которой начинается отрыв твердых частиц от поверхности почвы, называется критической скоростью потока.

Критическая скорость потока меньше на почвах с более мелкими микроагрегатами и гранулометрическими частицами, чем на почвах с крупными частицами.

Интенсивность отрыва поверхностными стоками почвенных частиц и агрегатов тесно связана с текстурой и гранулометрическим составом почв и почвообразующих пород и с тем, насколько данные скорости поверхностного стока превышают критические (неразмывающие) значения для данной почвы.

На интенсивность отрыва частиц от почвы большое влияние оказывает турбулентность потока, связанная с неровностью поверхности почв. В турбулентном потоке оторвавшиеся частицы интенсивнее поднимаются к поверхности потока и переносятся дальше. В местах, где скорость потока падает, минеральные частицы оседают, образуя переотложенные пролювиальные и делювиальные наносы и намытые почвы.

Факторы эрозии почв

Современная эрозия почв проявляется при сочетании природных и антропогенных факторов. Сочетание определенных природных факторов создает предпосылки для проявления ускоренной эрозии, а нерациональная хозяйственная деятельность является основной причиной ее развития.

К природным факторам водной эрозии относятся климатические (мощность снежного покрова, глубина промерзания почвы и скорость снеготаяния, количество осадков и их интенсивность), рельеф (расчлененность, базис эрозии, величина и форма водосборов, крутизна, длина, форма и экспозиция склонов), свойства почв (гранулометрический состав, структурное состояние, водопроницаемость, влагоемкость), степень защищенности земель естественной растительности.

Основные антропогенные факторы эрозии – уменьшение растительного покрова, дигрессия пастбищ, ухудшение структурного состояния почв, недостаточная защищенность поверхности растительными остатками.

Свойства эродированных почв

Процессы эрозии сильно воздействуют на свойства почв (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Влияние степени смытости почв на их свойства (за единицу приняты свойства и показатели несмытых почв)

Свойства и показатели	Почвы		
	слабосмытые	среднесмытые	сильносмытые
Мощности почвенных горизонтов			
А	0,5	0,5-0,0	—
В	1,0	1,0	0,9-0,0
Содержание гумуса	0,95-0,75	0,75-0,50	0,50-0,30
Объемная масса	1,03-1,06	1,05-1,12	1,10-1,23
Влажность завядания	0,98-0,96	0,90-0,85	0,75-0,65
Порозность (по Заславскому)	1,00-0,95	0,96-0,90	0,80-0,75
Полная влагоемкость (по Заславскому)	0,98-0,95	0,95-0,80	0,80-0,70
	—	0,72-0,64	0,49-0,43
Водопроницаемость (по Заславскому)			
Средняя урожайность культур:	1,0-0,8	0,8-0,6	0,6-0,3
зерна	1,00-0,90	0,90-0,70	0,65-0,45
зеленой массы			
Гидрологические характеристики:	0,85-0,75	0,70-0,60	0,60-0,50
впитывание воды	1,1-1,2	1,2-1,4	1,4-1,6
мутность потока	1,3-1,5	1,8-2,2	2,5-3,0
смываемость			

В результате эрозии снижается содержание гумуса, повышается плотность почвы, снижаются порозность, влагоемкость, водопроницаемость, запасы продуктивной влаги, уменьшается биогенность. С ухудшением агрофизических

свойств еще более возрастает подверженность эрозии, которая может привести к полной потере гумусового горизонта, необратимому ухудшению почвы при обнажении древних пород и ее потере при близком залегании плотных пород.

Диагностические признаки и классификация почв по степени смытости

Степень эродированности почв, прежде всего, проявляется в морфолого-генетических свойствах почвенного профиля. Ее определяют по уцелевшей от эрозии части почвенного профиля, то есть путем сравнения свойств оставшихся горизонтов с морфологическими особенностями генетических горизонтов ненарушенных целинных почв.

Морфологические особенности эродированных почв являются диагностическими признаками, указывающими на степень их эродированности. Они положены в основу классификации эродированных почв.

Проявления эрозии почв многообразны, разные исследователи для классификации используют различные признаки.

Хорошим диагностическим признаком смытых почв служит степень гумусированности Апах, которая отражается в интенсивности его темной окраски. По цвету пашни, не покрытой растительностью, легко судить о степени эродированности почв. Это свойство почв четко отражается на аэрофотоснимках. По изображению участков разной интенсивности окраски можно выделить контуры почв разной степени эродированности.

Признаки степени эродированности почв

I. Непашотные почвы

1. Дерново-подзолистые

- слабосмытые – частично смыт горизонт А1
- среднесмытые – полностью смыт горизонт А1, частично А2

- сильносмытые – полностью смыт горизонт A2, частично B1
- 2. Темно-серые лесные и серые лесные, бурые лесные
 - слабосмытые – смыто не более половины горизонта A1
 - среднесмытые – смыт более чем наполовину или полностью горизонт A1
 - сильносмытые – смыт частично или полностью горизонт A1 или A1A2 и частично A2B
- 3. Черноземы и каштановые
 - слабосмытые – смыто меньше половины горизонта A
 - среднесмытые – смыт более чем наполовину или полностью горизонт A
 - сильносмытые – смыт частично или полностью переходный горизонт B или AB (в черноземах).

II. Пахотные почвы (глубина вспашки 22...25 см)

1. Дерново-подзолистые
 - слабосмытые – смыт частично Апах, припахивается A2, под Апах остаются остатки горизонта A2B1 или A2. Горизонт Апах имеет белесоватый оттенок
 - среднесмытые – горизонт Апах смыт полностью, распаиваются A2 и B1, пахотный горизонт буроватой окраски
 - сильносмытые – распаиваются в основном горизонты B1 и B2. Горизонт Апах имеет красно-бурый цвет
2. Серые и темно-серые лесные
 - слабосмытые – гумусовый горизонт A1, имевший первоначальную мощность 30...40 см, смыт на 1/3, горизонты A2 и B не припахиваются
 - среднесмытые – горизонт A1 смыт на 2/3, в пахотный слой вовлекается горизонт A2B. Пахотный слой имеет буроватый оттенок
 - сильносмытые – гумусовый горизонт A смыт полностью

3. Мощные и среднемощные черноземы всех подтипов с первоначальной мощностью горизонтов $A + AB > 50$ см

- слабосмытые – смыто $< 1/3$ горизонта А. Горизонт Апах не отличается по цвету от несмытых участков. Мощность подпахотных горизонтов $A + AB$ уменьшается не более чем на $1/4$ по сравнению с неэродированными почвами
- среднесмытые – смыт более чем на половину горизонт А. Пахотный горизонт приобретает слабый буроватый оттенок. Мощность подпахотных горизонтов $A + AB$ уменьшается на половину
- сильносмытые – полностью смыт горизонт А и частично АВ. Пахотный слой становится бурым, имеет глыбистое строение, образует корку. Мощность горизонтов $A + AB$ сокращается на 75%

4. Черноземы всех подтипов и каштановые почвы с первоначальной мощностью горизонтов $A1 + AB < 50$ см

- слабосмытые – смыто не менее $1/3$ почвы с первоначальной мощности горизонтов $A + AB$. В пахотный горизонт вовлекается верхняя часть горизонта АВ
- среднесмытые – смыта большая часть горизонтов $A + AB$. Пашня по окраске мало отличается от почвообразующей породы. Под Апах залегают горизонты Вк и Вс
- сильносмытые – смыта большая часть горизонтов $A + AB$. Пашня по окраске напоминает почвообразующую породу. Под Апах залегают горизонты Вк и Вс

Классификация земель по степени эродированности

Группа А. Земли, интенсивно используемые в земледелии

I категория. Почвы не подвержены водной эрозии. Сток талых и дождевых вод с поверхности почвы не смывает почву нижележащих участков. Не-

обходимости в проведении противоэрозионных мероприятий и регулировании стока нет. Нужны меры по увеличению естественного плодородия почв.

II категория. Почвы подвержены слабой эрозии или сток с этих земель угрожает нижележащим участкам. Для прекращения и регулирования поверхностного стока достаточно применения простейших агротехнических мероприятий: правильное землеустройство, более глубокая вспашка, рядовой за- сев склонов, обвалование зяби.

III категория. Почвы подвержены средней эрозии. Для ее предотвращения, кроме вышеуказанных мероприятий, особенно на полях пропашных культур, необходимы: прерывистое бороздование междурядий в более сухих районах и поделка поперек склонов валиков (или окучивание) – в более влажных районах, проведение водоотводных полос в ливневых районах, безотвальная обработка с максимальным сохранением стерни в засушливых районах.

Земли этих категорий используют в обычных для данного хозяйства севооборотах.

IV категория. Почвы, подверженные сильной эрозии. Для ее прекращения необходима следующая организация территорий: разбивка буферных полос, нарезка полей чередующимися узкими полосами, проведение террасирования, устройство горизонтальных или наклонных валов-террас с широкими промежутками, допускающими проход сельскохозяйственных машин и орудий.

Группа Б. Земли, пригодные для ограниченной обработки

V категория. Почвы, подверженные очень сильной эрозии. Земли этой категории при хорошей защите осваивают под сады, виноградники или в почвозащитных севооборотах с многолетними травами. Их можно использовать для временного возделывания сельскохозяйственных культур. Эти пастбища и сенокосы, и сильноэродированные пашни, которые могут быть выделены в почвозащитный севооборот с 1...2 полями зерновых культур и 5... 10 полями многолетних трав.

Группа В. Земли, подверженные очень сильной эрозии и непригодные для обработки

VI категория. Земли, непригодные для включения в почвозащитный севооборот. Их можно использовать под сенокосы и пастбища с умеренным выпасом. Требуют поверхностного улучшения.

VII категория. Земли с ограниченным выпасом. Требуют поверхностного улучшения.

VIII категория. Земли, не пригодные ни для земледелия, ни для сенокосения, ни для выпаса. Их можно использовать только под лесные угодья.

IX категория. Земли, не пригодные ни под какие земельные угодья, даже для лесоразведения. Это бросовые земли, в состав которых входят обрывы, каменистые осыпи, бедленды.

Данная классификация интересна тем, что она дает достаточно дробное деление территории по степени эродированности почв и одновременно рекомендации по возможному виду сельскохозяйственного использования.

Заслуживает внимание группировка почв по степени противоэрозионной стойкости, разработанная З.П. Кирюхиной и З.В. Пацукевич. Она основана на учете свойств почв – их генезиса, гранулометрического состава, содержания гумуса, литологии почвообразующих пород (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Группировка почв по противоэрозионной стойкости

Степень эродируемости почв	Коэф-т эродируемости, т/га	Почвы	Почвообразующие породы	Гранулометрический состав	Гумус, %
Минимально эродируемые	< 1,0	Черноземы выщелоченные, обыкновенные, типичные	Лессовидные суглинки	тс, г	> 6,0
Слабо-эродируемые	1,1...1,5	Черноземы всех подтипов, Темно-серые, Лесные.	Лессовидные суглинки	тс, г	4,5-6,0
		Подзолы, Дерново-Подзолистые.	Пески	п	< 1,5

		Черноземы. всех подтипов. Темно- каштановые.	Лессовидный суг- линок Лессовидный суг- линок	лс, сс тс	3,0-3,5
Средне- эродируемые	2,1...2,5	Темно-серые Лесные. Серые лесные.	Покровные суг- линки Покровные суг- линки Покровные суг- линки Лессовидные суг- линки	сс тс тс, г сс, тс	2,5-4,0
	2,6...3,0	Светло-серые лесные. Каштановые, темно- каштановые. Дерново- подзолистые. Каштановые, темно- каштановые. Темно-серые лесные. Серые лесные. Светло-серые лесные. Дерново- подзолистые. Дерново- подзолистые.	Покровные мо- ренные суглинки Лессовидные суг- линки Покровные суг- линки Покровные суг- линки Покровные суг- линки Покровные суг- линки Моренные суг- линки	г лс, сс лс лс, сс сс, тс тс сп, сс, тс	
Сильно- эродируемые	3,1...4,0	Светло-серые лесные. Дерново- подзолистые. Дерново- подзолистые. Светло- каштановые. Дерново- подзолистые. Дерново- подзолистые. Светло- каштановые.	Покровные суг- линки Покровные суг- линки Моренные суг- линки Лессовидные суг- линки Лессовидные суг- линки Моренные суг- линки Лессовидные суг- линки	сп, лс сп, лс, сс лс сп, лс сп, лс, сс лс лс, сс	1,5...2,5 1,5-2,5
		Светло-серые лесные. Дерново- подзолистые.	Покровные суг- линки Покровные суг- линки	сп, лс сп, лс	< 2,0

Примечание: **сп** – супесь, **лс** – легкий суглинок, **сс** – средний суглинок, **тс** – тяжелый суглинок, **г** – глина

Именно эти свойства наиболее сильно влияют на противоэрозионную стойкость почв. Оценка противоэрозионной стойкости дана через коэффициент эродированности (К).

Эта классификация позволяет дать сравнительную оценку потенциальной противоэрозионной стойкости почв разных природных зон и разного литологического состава, формирующихся в однотипных условиях рельефа.

Изображение смытых почв на аэрофотоснимках

Эродированные почвы всех типов детально изображаются и легко выявляются на аэрофотоснимках. Эти почвы опознаются по тону изображения (см. выше), помимо тона при дешифрировании почв используют такой важный признак, как конфигурация участков определенного тона изображения. Обычно изображения смытых почв образуют светлые контуры, вытянутые вдоль уступов долин и увалов. Также обращают внимание на контуры отдельных форм микрорельефа: вытянутые формы промоин свидетельствуют о сильно выраженных процессах эрозии, округлые западины говорят об отсутствии стока

Тон изображения почв на аэрофотоснимках анализируют обязательно в сочетании с изучением рельефа. Без учета рельефа могут быть ошибки в дешифрировании, так как разным тоном изображаются не только почвы разной степени смытости, но и почвы, отличающиеся почвообразующими породами или влажностью. Кроме того, по тону изображения смытые почвы склонов могут быть подобны намытым почвам подножий склонов.

На аэрофотоснимках можно детально проследить все особенности развития эрозионных форм: расположение их на склонах мезорельефа, стадию развития, глубину вреза промоин, крутизну и длину их склонов и др.

При дешифрировании эродированных почв используют и такие показатели, как форму склонов, площадь водосборов, состав растительного покрова, литологический состав почвообразующих пород, вид сельскохозяйственного использования территории.

Прогноз эродированности почв

Правильная организация сельскохозяйственного производства на эрозивно-опасных территориях требует разработки прогнозов эрозии почв при возделывании тех или иных сельскохозяйственных культур и противоэрозионных мероприятий при проектировании орошения, когда на поля планируется подача дополнительной воды различной дождевальной техникой.

Для предсказания последствий этих мероприятий предложены различные математические зависимости, оценивающие возможный смыл почвы. Математизация прогноза эрозии проходила довольно сложным путем и до последнего времени не имела окончательного решения.

Историю развития методов математического прогнозирования можно разделить на четыре этапа:

- 1) использование простейших методов статистической обработки первичных материалов;
- 2) выявление отдельных эмпирических зависимостей с использованием математического аппарата, создание математических моделей влияния на эрозию уклона, длины склона, водовпитывающей способности почв и др.;
- 3) логико-математическое моделирование, разработанное на основе физического анализа;
- 4) построение различных априорных математических моделей, создаваемых методами, опирающимися на дедуктивный подход и интуитивную оценку изучаемого явления, выработанную опытным путем, и предназначенных для объяснения конкретных наблюдаемых процессов и их распространения на будущую обстановку.

Существующие модели включают множество коэффициентов. Многие из них содержат степенные зависимости от факторов, тогда как сами факторы изменчивы в пространстве и времени. Это очень осложняет построение математических моделей эрозии, которые обладают малой точностью.

Однако обработка моделей эрозии почв развивается и совершенствуется и некоторые из них имеют широкую известность.

Противоэрозионные мероприятия

Защита почв от эрозии заключается в предупреждении этого явления, ликвидации очагов и прекращении процессов их развития, увеличении плодородия эродированных почв.

Суть противоэрозионных мероприятий состоит в уменьшении поверхностного стока, сохранении на поле максимального количества атмосферных осадков, переводе поверхностного стока во внутрипочвенный, в усилении противоэрозионной стойкости почв.

Защита почв от эрозии осуществляется комплексом взаимосвязанных и взаимодополняющих мероприятий. Условно все виды противоэрозионных мероприятий делятся на четыре группы: землеустроительные (организация территории), агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические.

Организационно-хозяйственные меры не являются собственно мелиоративными. Они включают отдельные элементы использования земель общего плана и призваны решать довольно широкий круг вопросов – от определения направления и специализации хозяйств до размещения полей и линейных элементов территории. Цель этой группы мер – создать основу для применения противоэрозионных мер мелиоративного характера.

Агротехнические (агромелиоративные) противоэрозионные мероприятия по принципу действия могут быть разделены на следующие группы: 1) водозадерживающие; 2) водопоглощающие; 3) водосборные; 4) повышающие противоэрозионную стойкость почв; 5) защищающие почву от непосредственного воздействия дождя и стока; 6) комплексные.

Агролесомелиорация представляет собой способ многостороннего воздействия на почвы и микроклимат сельскохозяйственных угодий для защиты их от неблагоприятных природных явлений и повышения урожайности возделываемых культур.

ваемых культур, осуществляемый путем лесопосадок. Иными словами, коренное улучшение почв и климата и средство регулирования стока с помощью выращивания деревьев и кустарников.

Виды лесных защитных насаждений: полезащитные, гидролесомелиоративные, противозрозионные, санитарно-гигиенические зоолесомелиоративные, авиадесомелиоративные, для защиты сухопутных путей сообщения (вдоль железнодорожных и шоссейных дорог), пескоукрепительные насаждения.

Гидротехнические сооружения приходится строить там, где агротехнические и лесомелиоративные мероприятия оказываются малоэффективными. Эффект агротехнических мероприятий в полную силу проявляется только через несколько лет, а лесомелиоративные полосы начинают работать на полную мощность через 10-20 лет после их создания. Гидротехнические сооружения воздействуют на почву сразу же после их устройства. По месту создания гидротехнические сооружения можно разделить на три группы: на водосборной площади, в вершинах оврагов, на дне оврагов.

На водосборной площади обычно устраивают земляные сооружения. По характеру воздействия на сток они делятся на следующие основные виды:

- задерживающие поверхностный сток – валы-террасы, водозадерживающие валы;
- обеспечивающие безэрозионный сброс поверхностного стока – распылители стока, водоотводные валы или нагорные канавы, почвозащитные сооружения.

К донным сооружениям относятся устройства, защищающие вершины оврагов, снижающие скорость течения воды по оврагу, а также дамбы и запруды. Донные противозрозионные гидротехнические сооружения делят на временные и длительно действующие.

Вершинные водосборные сооружения обеспечивают безопасный сброс концентрированного поверхностного стока на нижние уровни. Сооружения создаются в виде быстротока, перепада и консоли.

**Величины стока и интенсивность смыва почв
в лесостепной и степной зонах стран Восточной Европы
(Россия, Украина, Молдавия)**

Таблица 6.3

Шкала интенсивности стока на пашне

Характеристика стока	Величина стока, мм	Коэффициент стока
1. Стока нет	0	0
2. Очень слабый	до 7	до 0,05
3. Слабый	8-20	0,06-0,15
4. Умеренный	21-40	0,16-0,35
5. Сильный	41-75	0,36-0,65
6. Очень сильный	76-115	0,66-0,85
7. Чрезмерно сильный	> 115	> 0,85

Таблица 6.4

**Интенсивность смыва почв на пашне
(в лесостепной и степной зонах стран Восточной Европы)**

Характер смыва	Среднегодовой вынос почвы, м³/га	Уменьшение мощности (см) почвы за 100 лет	Характеристика смыва
1. Смыва нет	0	0	—
2. Слабый	до 3	до 3	Воспроизводство в процессе почвообразования
3. Умеренный	4-8	4-8	Недостаточное восполнение почвообразованием
4. Сильный	9-15	9-15	Не восполняется почвообразование
5. Очень сильный	16-30	16-30	-“-
6. Чрезмерный	31-80	31-80	-“-
7. Катастрофический	> 80	> 80	-“-

При экспертной оценке эрозионных процессов и проектировании противоэрозионных мероприятий необходимо учитывать шкалу интенсивности смыва (табл. 6.4).

По опубликованным материалам отечественных исследователей следует, что при увеличении длины склона в 2 раза смыв почвы с единицы площади по-

вышается от 1,4-3,0 раза. Удвоение крутизны склона обуславливает увеличение смыва почвы в 1,7-2,5 раза. Совокупное увеличение длины и крутизны склона влияет на возрастание смыва почвы в 3-4 раза.

Влияние крутизны склона зависит от *податливости почвы* смыву, от степени ее защищенности растительностью, от интенсивности осадков, водопоглотительной способности почв, водовместимости и водоотдачи почв и почвообразующих пород, а также ряда других факторов. На основе исследований факторов эрозии и состояния ландшафта была предложена зависимость твердого расхода почвы от ряда факторов:

$$M = K \cdot I^{1,4/\alpha + 2L/10^4} \cdot L^{1,5/\alpha},$$

где:

M – расход смытого материала, кг/с;

K – коэффициент, учитывающий другие (посторонние) факторы эрозии;

I – уклон местности (tg угла);

α – коэффициент, характеризующий степень защищенности растительностью, или другими материалами, находящимися на поверхности (мульча, гравий, галька, щебень, дресва, снег и т.д.). Для незащищенной поверхности $\alpha = 1$, слабозащищенной – 1-1,5, среднезащищенной – 1,6-3,5, хорошозащищенной – 3,6-6,0, очень хорошозащищенной – более 6.

L – длина склона, расстояние от водораздельной линии до участка, подлежащего мониторингу, м.

Комплекс противоэрозионных мероприятий по охране почв

Комплекс включает:

- организационно-хозяйственные мероприятия;
- агротехнические мероприятия;
- лесомелиоративные мероприятия;
- фитотехнические мероприятия;

– гидротехнические мероприятия.

Комплекс предполагает взаимосвязанность мер, экономическую целесообразность, технологическую осуществимость, экологическую безопасность, эстетическую гармонию.

Каждый блок мероприятий важен, но объемное наполнение его конкретными технологиями должно быть дифференцировано по природным зонам в зависимости от характера землепользования, уровня технологической культуры, экономической возможности, обеспеченности научно-техническим персоналом и т.д. Недопустимо во время экспертизы переоценивать роль одних противоэрозионных мероприятий, недооценивать – других, недооценивать требования совместимости друг с другом. При правильной, научно-обоснованной системе все мероприятия (и приемы) должны взаимно дополнять друг друга, аддитивно повышая устойчивость ландшафта в целом.

При выборе приемов учитывают экономический фактор, затраты труда и средств для достижения возможного эффекта.

В применении противоэрозионных мероприятий недопустим шаблон: комплекс мероприятий, адаптированный к одной природной зоне и типу землепользования, не гарантирует охраны почв в другой природной зоне. Например, противоэрозионный комплекс, разработанный для условий лесостепной и степной зон стран Восточной Европы (Украина, Россия, Молдавия и др.), оказался неэффективным в странах субтропического и тропического поясов, особенно в условиях ливневого режима атмосферных осадков и низкой противоэрозионной устойчивости почв, а также маломощности коры выветривания.

Противоэрозионная организация территории

Противоэрозионная организация территории, интенсивно используемой в земледельческой практике, включает:

- выделение на топографической карте, с последующим выносом в натуру севооборотных массивов полевого и почвозащитного севооборотов и участков для постоянного и периодического залужения;
- выбор и/или разработка схем севооборотов и правильное расположение полей: длинными сторонами поперек склона или по контуру;
- правильное расположение защитных лесных полос на склонах и насаждений на элементах гидрологической сети;
- правильное размещение гидротехнических сооружений и дорожной сети.

Противоэрозионная организация территории в условиях совмещения производства продуктов земледелия и животноводства требует обязательной разработки мероприятий по регулированному выпасу скота.

Система агротехнических мероприятий по охране почв от эрозии

Цели, решаемые агротехническими мероприятиями:

- задержание атмосферных осадков на месте выпадения;
- защита почв от разбивания каплями дождя (гашение кинетической энергии падающих капель);
- защита почв от смыва и размыва при наличии стока (гашение «живой» силы стекающей по поверхности воды);
- безопасный отвод воды с эрозионноопасной территории.

Задержание талых и дождевых вод и регулирование поверхностного стока в условиях высокой культуры земледелия может быть осуществлено следующими приемами:

- глубокая вспашка поперек склона или глубокое рыхление плоскорезом;
- глубокая гребнистая вспашка поперек склона или по контуру, которой предшествует специальная контурно-полосная организация севооборотов (при увеличении γ уменьшается «живая» сила потока);

– устройство на сложных склонах водозадерживающего микрорельефа на зяби: прерывистых борозд, лунок, микроложбинок и др.;

– щелевание поперек склона зяби и озимых по промерзшей на 8-10 см почве и осеннее щелевание земель с многолетними травами (приемы эффективны только на тяжелых и средних почвах; устойчивость щелей на почвах легкого гранулометрического состава очень низкая);

– нарезка наклонных водоотводящих борозд с валиками, насыпаемыми со стороны подошвы склона (при крутизне склона 3-3,5° борозды с валиком располагаются через 80-100 м; им придается уклон, не превышающий 1,5°. На более крутых склонах наклонные борозды с валиком располагаются через 50-70 м с уклоном не превышающим 1/3 крутизны склона. Борозды нарезаются ежегодно на одном и том же месте);

– снегозадержание (используется в природных зонах с формированием постоянного снежного покрова);

– регулирование снеготаяния (зачернение поверхности снега сажей, отходами горно-рудной промышленности; распахивание снега соломой, торфом, пленкой; уплотнение снега полосами; прикатывание снега).

ТЕМА 7

ДЕФЛЯЦИЯ ПОЧВ

Термином «дефляция почв» в современной литературе принято определять процессы денудации, агентами которых являются воздушные потоки в атмосфере (ветер).

Перемещение воздушных потоков в атмосфере подчиняется законам аэродинамики. Воздушные потоки, вызывающие дефляцию, в отличие от водопотоков могут перемещаться не только вниз по наклонным поверхностям (вниз по склону), но и по восходящим векторам рельефа (вверх по склону). Другими словами, дефляционная деятельность ветра многовекторна. Для изучения механизма и интенсивности дефляции применяются главным образом аэродинамические установки различной конструкции, а приборы, учитывающие выдувание, называются дефляциомерами.

Степень опасности выдувания почв определяется силой ветра, периодом прохождения дефляционноопасных ветров и противодефляционной устойчивостью почв.

Территория, где создается опасность выдувания почв, называется дефляционноопасной, к категории которых могут принадлежать земли в условиях совершенно выравненного рельефа.

Степень опасности проявления процессов разрушения почв ветром во многом определяется характером почвенного покрова. Как правило, наиболее интенсивно разрушаются ветром почвы легкого гранулометрического состава и почвы, имеющие распыленную (деградированную) поверхность. Противодефляционная устойчивость почв резко возрастает при насыщении поглощающего комплекса натрием.

На степень проявления выдувания почв большое влияние оказывает сезонное состояние почв. Почвы, насыщенные водой, наименее подвержены вы-

дуванию. Промерзание водонасыщенных почв способствует увеличению противодефляционной устойчивости.

При выдувании почв гранулометрический состав их в результате выноса наиболее тонких фракций обычно становится более грубым.

Рыхление почв как агротехнический прием может быть фактором, усиливающим опасность выдувания почв, а уплотнение их – одной из мер защиты их от выдувания. Контурная обработка почв на склонах не может существенно влиять на уменьшение выдувания почв, так как воздушные потоки перемещаются не только перпендикулярно направлению горизонталей местности. Противодефляционная обработка почв в своей основе базируется главным образом на безотвальной системе.

Комплекс почвозащитных мероприятий от выдувания должен включать научно-обоснованные севообороты и продуваемой конструкции лесные полосы. Имеют свою специфику и организационно-хозяйственные мероприятия. В дефляционноопасных районах на равнинных землях поля севооборота имеют большие площади, нарезаются прямоугольником, длинные границы которых перпендикулярны дефляционноопасным ветрам.

Среди мероприятий противодефляционного назначения исключительно большое значение имеет хорошо развитый растительный покров, и поэтому все приемы, направленные на его сохранение или создание, должны быть в центре внимания экспертов, исследователей и всех категорий землепользователей.

Дефляция наложила неизгладимый отпечаток на почвы Средиземноморья, Ближнего Востока, Индии, Китая, Средней и Центральной Азии. Она имеет распространение в Австралии, на материке Северной Америки и в Африке. Дефляция, особенно сильно проявляющаяся в годы длительных засух, временами охватывала обширные пространства в степной, сухостепной и пустынных зонах СССР.

Эксперты по земельным ресурсам мира отмечают два обстоятельства, которые сыграли решающую роль в том, что дефляция и эрозия превратились в спутника земледелия на планете.

Первое обстоятельство – уничтожение естественного покрова с целью возделывания главнейших пищевых растений, как правило представленных изнеженными культурой однолетними формами. Ускоренная эрозия и дефляция с незапамятных времен развивается на землях открытых, не скрепленных корнями и не затененных надземной частью растений. Возделывание изнеженных культурой пищевых растений обуславливало ежегодное перемещение колоссальных объемов почв обрабатывающими орудиями, что способствовало интенсификации процессов эрозии и дефляции.

Селекция же форм растений многолетнего образа жизни нигде в мире не достигла желаемых результатов. Хотя последствия введения таких форм возделываемых культур хотя бы на части обрабатываемых земель позволили бы сократить затраты труда и сохранить бы почву от эрозии и дефляции под надежным покровом многолетних злаков.

Второе обстоятельство – это широкое распространение отвального плуга, заделывающего все растения в нижние слои почвы. Экспертами отмечается, что изобретение отвального плуга, который позволил подрезкой пласта и его оборотом уничтожать растения, было великим событием в истории земледелия. Однако ежегодное повторение этой операции полностью ликвидировало протекторные функции растительных остатков от разрушения почв.

Виды дефляции почв и причины ее развития

Дефляция почвы проявляется преимущественно в районах засушливых, безлесных, с резкими колебаниями погоды и активным ветровым режимом. По степени проявления дефляции выделяют две ее формы: повседневную, вызываемую слабыми воздействиями воздушных потоков на почву, и пыльные бури, возникающие при ветрах большой скорости.

К причинам возникновения повседневной дефляции относятся не только слабые воздействия воздушных потоков на поверхность обнаженной почвы, но и результаты воздействия на почву всех видов орудий, машин, транспортных

средств и стад скота. В этом случае, ветер является только агентом переноса и отложения наиболее тонких почвенных частиц, оторванных от поверхности высушенных агрегатов почвы или распыленно их массы.

Вторым видом дефляции почв являются пыльные бури, вызываемые ветрами высоких скоростей. Они могут охватывать обширные пространства, вовлекать в воздушный поток колоссальные массы почвы. По оценкам экспертов, пыльные бури являются не причиной, а следствием разрушения почвы большой разрушительной повседневной дефляции. Но возникнув, пыльные бури сами становятся фактором большой разрушительной силы. Основным условием усиления повседневной дефляции до катастрофических масштабов – пыльных бурь – является уничтожение природного растительного покрова, сужение функций биоты, распыление верхнего слоя почвы.

Тысячелетняя практика возделывания культурных растений требовала полного уничтожения природной растительности обработкой почвы, что явилось основным фактором, усиливающим дефляцию. В засушливых регионах мира неурегулированный выпас скота обуславливает разбивание растительности и почвы, что также способствует усилению дефляции. В регионах, где под выпас используются земли с почвами легкого гранулометрического состава, опасность проявления дефляции чрезвычайно велика.

Практика сжигания стерни и соломы на обрабатываемых пашнях, а также сжигание степной и саванной растительности способствует ускоренному распылению почвы вследствие выгорания корешков растений, скрепляющих комочки верхнего слоя почвы, детрита, гумусовых веществ, дождевых червей и населяющих почву насекомых.

Исследованиями на южных карбонатных тяжелосуглинистых черноземах Казахстана установлено, что порогом устойчивости почвы к дефляции является такое ее состояние, когда соотношение почвоохранных комков (крупнее 1 мм), и дефляционноопасных комков (мельче 1 мм), в слое 0-5 см составляет 1:1. Чем выше число комков мельче 1 мм, тем почва менее устойчива к воздействию ветра. Таким образом, устойчивость к дефляции почв на землях, лишенных рас-

тительного покрова, зависит от количества и связности (механической прочности) слагающих ее структурных элементов. Немаловажное значение имеет и водопрочность комков. Карбонатность почв, снижающая гидрофильность коллоидов, способствует распаду комков на микроагрегаты и снижает ветроустойчивость почв. Наоборот, солонцеватость, повышающая гидрофильность коллоидов, повышает и ветроустойчивость почв.

Самая важная роль в усилении и замедлении дефляции принадлежит климату. Основные показатели климата, определяющие особенности природных зон мира, это количество, распределение и характер выпадения осадков, температурный режим и ветровая активность. Большое значение в развитии дефляции почв имеет континентальность климата, сопровождающаяся нарастанием амплитуды колебания температуры воздуха и почвы, уменьшением суммы годовых осадков, снижением гидротермического коэффициента, сокращением безморозного периода, усилением активности ветров.

Характер почвообразующих пород, определяющих свойства и режимы формирующихся на них почв, оказывает значительное влияние на ветроустойчивость ландшафтов. Гранулометрический состав почв во всех природных зонах играет решающую роль в связности почвенных агрегатов: чем меньше илистой фракции в почве, тем меньше она противостоит разрушающему воздействию ветров.

Легкие по гранулометрическому составу почвы скрепляются главным образом корнями природной растительности, комки и агрегаты этих почв обладают крайне низкой связностью. Вовлечение этих почв в распашку без почвоохранных мер вызывает дефляцию на значительных территориях в различных природных зонах.

Дефляция почв является характерной чертой экологии пустынных территорий Африки (Сахара, Калахари, Намиб, Карру, пустынные территории Сомали и Эфиопии), Северной Америки (Сонора, Мохаве, Хила, Чиуауа, территории Большого Бассейна и др.), Южной Америки (Сечура, Пампа-дель-Тамаругаль, Атакама, Монте, Патагония), Азии (Такла-Макан, Алашань, Бейшань, Цайдам –

в Китае; Тар – в Индии; Тхал – в Пакистане; Гоби – в Монголии и Китае; Каракумы, Кызылкум, Муюнкум – бывшие советские республики; Деште-Кевир, Деште-Лут, Дашти-Марго, Регистан, Харан – в Иране и Афганистане; Руб-эль-Хали, Большой Неруд, Эль-Хаса – на Аравийском полуострове) и Австралии (Большая Виктория, Симпсон, Большая Песчаная, Гибсона). Поверхностные отложения пустынных территорий Мира обязаны их геологическому строению и природным процессам, происходившим в четвертичный период и настоящее время. По мнению исследователей, поверхностные отложения пустынь всюду однотипны и представлены: а) каменистым и щебнистым элювием на третичных и меловых конгломератах, известняках, песчаниках и мергелях, слагающих структурные равнины; б) галечными, песчаными, суглинистыми и глинистыми пролювиальными наносами подгорных равнин; в) песчаными толщами древних речных долин; г) песчано-глинистыми отложениями древних дельт и озерных депрессий; д) эоловыми песками (Петров М.П., 1973).

Для геоморфологии пустынь характерны низкогорья и мелкосопочки, древние, аллювиальные и пролювиальные равнины с выраженными процессами выдувания, переноса и накопления, крупные озерные депрессии и впадины, нередко с погребенным под толщами песков древним рельефом (Бабаев А.Г. с соавт., 1986).

«В каждом случае пустынная территория отличается своими общими и локальными процессами, закономерностями развития, превосходством одних природных условий над другими» (Бабаев А.Г. с соавт., 1986, с. 20).

Пустынным территориям разных континентов присущи многие черты сходства и различий. Сходство более всего проявляется в геологических, климатических и геоморфологических чертах и процессах при некоторых локальных отклонениях. Различия более всего выражены по степени проявления биологического фактора (растительность, животные, микроорганизмы), отчасти почв и в особенностях использования природных ресурсов. Связнопесчаные и супесчаные почвы подвергаются дефляции непосредственно после распашки. Утяжеление гранулометрического состава обуславливает повышение ветроус-

тойчивости почв через укрупнение размера комков и увеличения их связности. В тоже время с обработкой связано неизбежное разъединение крупных комков на более мелкие и тем самым снижение стойкости почв пахотного слоя к дефляции. Например, исследования, проведенные на южных карбонатных легкоглинистых черноземах Северного Казахстана, позволили выяснить срок достижения почвой порога дефляционной опасности при обычных приемах обработки. В целинном состоянии содержание дефляционноопасных фракций (размер частиц менее 1 мм) в слое 0-5 см не превышает одной трети. Но на 7-10 годы после освоения целины количество этих фракций составляет уже более половины массы почвы, что при определенных погодных условиях способствует возрастанию риска проявления дефляции (Зайцева А.А., 1970).

Особенно сильно разрушают почвенные комки диски луцильников, придавая образующимся микроагрегатам свойства (качества) сыпучести и подвижности песка. Заделанная отвальной вспашкой распыленная масса почвы частично восстанавливает комковатость, о чем свидетельствует снижение содержания дефляционноопасных фракций на 15-20%. Однако, весеннее закрытие влаги, предпосевное лушение, посев и прикатывание возвращают почвы к первоначальному состоянию, характерному до заделывания распыленной массы отвальной вспашкой. Значение зяблевой отвальной вспашки в развитии процессов дефляции почв детально исследовано в условиях обширнейших территорий Северного Казахстана. Было отмечено, что короткий безморозный период, низкие температуры воздуха и почвы в холодный период, засушливая осень и весна исключают возможность возделывания озимых культур. Яровые культуры сплошного сева (пшеница, овес, ячмень) скрепляют почву корнями и притеняют ее лишь в течение 3-4 месяцев, оставляя ее открытой для воздействия внешних факторов в течение 8-9 месяцев. Обнаженные поля в зимний период лишаются не только снега, но и подвергаются зимней дефляции почв. Исследования показали, что обработка почвы, базирующаяся на ежегодной отвальной вспашке с соответствующими ей приемами предпосевной обработки, посева и прикатывания, сводится в основном к борьбе с сорной растительностью. В то же вре-

мя эта обработка приводит к постоянному разрушению комковатого строения пахотного слоя и снижает устойчивость почвы к дефляции (Зайцева А.А., 1970).

Интересные результаты получены также по вопросу целесообразности применения осенней вспашки для регулирования водного режима почв. Показано, что зябь может служить средством накопления влаги в том случае, если за вневегетационный период (период времени с температурой воздуха ниже 5°C, включающий три сезона: осень предыдущего года, зима и весна следующего года) выпадает свыше 150 мм осадков, а за вегетационный период – менее 250 мм. Если осадки за вегетационный период составляют свыше 250 мм, то зябь теряет значение накопителя влаги. Если выпадает меньше 250 мм, то зябь должна восполнить запасы влаги к весне; однако при выпадении за вневегетационный период менее 100 мм осадков зябь не может прибавить влаги к тому запасу, который остался от вегетационного периода. В районах, где часто дуют ветры, имеющие скорость, превышающую 6 м/с, с полей, вспаханных на зябь, сносится значительное количество мелкозема (Зайцева, 1970).

Механизм проявления дефляции и устойчивость почв

Дефляция почвы является весьма сложным физическим процессом, протекающим непосредственно на ее поверхности. Она зависит от скорости воздушного потока и состояния поверхности почвы или ее шероховатости. Скорость ветра резко снижается у поверхности почвы, при этом снижение скорости происходит тем сильнее, чем шероховатее почва. Градиент скорости (разница в скоростях) вызывает подъемную силу, осуществляющую отрыв и перенос почвенных частиц, диаметр которых менее 1 мм. Наиболее легко и активно передвигаются комочки и песчинки размером от 0,1 до 0,5 мм, формируя воздушно-пылевую массу, внутри которой идет дробление и истирание взвешенных частиц. В свою очередь, пыле-воздушный поток, постоянно насыщаемый новыми массами отрываемых и переносимых частиц, при своем движении производит разрушающее воздействие на поверхность почвы. Разрушающее воздействие

пыле-воздушного потока тем интенсивнее, чем меньше их сопротивление разрушению трением и ударами, то есть чем ниже механическая прочность. Процесс дефляции интенсифицируется на почве, иссушаемой ветром до гигроскопической влажности, при которой клеящие структурный агрегат вещества становятся крайне хрупкими.

Скорость ветра, при которой возникает дефляция, называют порогом скорости. Если нет привнесенной с стороны пыле-воздушной массы, то порог скорости выше, то есть дефляция почв начинается при более высоких скоростях ветра. Если же пыле-воздушный поток проносится над полем, поверхность его подвергается бомбардирующим воздействиям взвешенных частиц, дефляция может возникнуть при ветрах меньшей скорости.

Тесной связи пороговой скорости начала дефляции с гранулометрическим составом почвы нет, поэтому лимиты устойчивости их варьируют в зависимости от конкретных ситуаций в пределах 2,5-15 м/с. Тем не менее опосредовано эти граничные показатели соответственно соотносятся с почвами легкого и тяжелого гранулометрического состава.

Многочисленными исследованиями установлено, что пороговые скорости ветра – это относительные показатели, их нельзя считать диагностическими признаками устойчивости почв к дефляции. Диагностическим признаком устойчивости почв к дефляции предложено считать комковатость верхнего слоя почвы (0-5 см), несмотря на то, что связность почвозащитных агрегатов деградирует под влиянием колебаний температуры и влажности. Лабораторными исследованиями показано, что связность почвы снижается тем больше, чем больше она подвергается попеременному увлажнению, высушиванию и промораживанию. Следовательно, резкие колебания погодных факторов осенью, зимой и весной исключают возможность защиты почвы от дефляции за счет комковатости ее поверхности независимо от физико-химических свойств и гранулометрического состава.

Из этого заключения следует, что надежная защита почв различных природных зон от дефляции должна обеспечиваться, наряду с приданием ей комко-

ватости, сохранением на поверхности полей пожнивных остатков от уборки урожая до полного укрытия почвы растениями посева следующего года.

Замена отвальной обработки полей почвозащитной обработкой с сохранением максимального количества стерни требует применения специального комплекса противодефляционной техники. В зависимости от конкретных почвенно-экологических условий природных зон, комплекс противодефляционной техники может быть представлен системой орудий и машин, включающей плоскорезы с шарнирным креплением широких лап (250 см), гидрофицированные плоскорезы, позволяющие осуществлять устойчивую по глубине обработку почвы от 8 до 18 см, орудия для глубокого рыхления (глубокорыхлители), штанговые и тяжелые культиваторы, игольчатые бороны для мелкого рыхления, луцильники-сеялки различных конструкций и модификаций, дисковые сеялки с прикатывающим устройством, универсальные сеялки для стерневых фонов, культиваторы-сеялки, обеспечивающие несколько операций (предпосевную обработку почвы, посев, внесение удобрений в рядок, прикатывание рядков) за один проход.

Оценка ветроустойчивости почвы при использовании противодефляционных орудий и машин

Для оценки степени ветроустойчивости почвы в зависимости от способа обработки и системы использованных противодефляционных орудий и машин по характеру формируемой ими поверхности предлагается суммарный критерий, объединяющий показатели комковатости верхнего слоя и количества стерни на единице площади.

Исследования Шиятова Е.И. (1965а; 1965б) позволили составить номограммы, позволяющие определить устойчивость поля с пожнивными остатками зерновых культур. Одновременно были разработаны уравнения для оценки дефлированности поверхности почвы: без пожнивных остатков; со стоячей стер-

ней; с лежащей стерней. Соответствующие уравнения дефлируемости почв представлены ниже:

- для почв без пожнивных остатков: $Q = 10^{3,95-0,38 \times K}$;
- для почв со стоячей стерней: $Q = 10^{4,04-0,038 \times K-0,0041 \times S}$;
- для почв с лежащей стерней: $Q = 10^{4,0-0,039 \times K-0,0049 \times S}$.

В этих уравнениях:

Q – дефлированность в граммах за пять минут экспозиции образца почвы при скорости воздушного потока 12,48 м/с на высоте 50 см;

K – комковатость верхнего слоя почвы в %;

S – число стоячих или лежащих стернинок на площади один метр квадратный.

Для практических целей в пределах почвенно-экологических условий Северного Казахстана была рекомендована следующая шкала (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Количество стерни (штук на 1 кв. м) длиной 20 см, необходимое для придания устойчивости поверхности почвы при распылении ниже порога устойчивости (Зайцева А.А., 1970, с изменениями)

Состояние стерни	Комковатость слоя почвы 0-5 см, %				
	60	50	40	30	20
лежащая	0	75	100-150	150-200	> 200
стоячая	0	100	200	250	> 300

По мнению авторов, данная методика пригодна для землепользований, в структуре посевных площадей которых резко доминируют зерновые культуры. Для оценки ветроустойчивости поверхности почвы с остатками других растений необходимы исследования для разработки других методик.

Прогнозирование дефляционных процессов основано на их моделировании дефляции. Математическое моделирование дефляции на физических моделях позволяет прогнозировать выдувание почвы не только для сочетания природных условий, но и в конкретных условиях земледелия.

Научное прогнозирование процессов, построение их моделей, прогностических уравнений явилось базой для системного подхода к разработке предупреждающих дефляцию мероприятий, для отказа от сомнительных альтернатив в выборе и оценке методов защиты от дефляции.

Недостаточность применения в исследованиях системных методов, системных решений в проектировании противодефляционных мероприятий является одной из причин продолжающегося разрушения почвы ветром, загрязнения продуктами дефляции окружающей среды.

Технология возделывания сельскохозяйственных культур в дефляционноопасных экологических условиях

Технология возделывания сельскохозяйственных культур (последовательность применения системы специализированных для данной природной зоны орудий и машин) должна разрабатываться с учетом адаптированных севооборотов, соответствующих направлению и специализации хозяйства.

В обширной степной зоне азиатского субконтинента с коротким безморозным периодом приняты зерно-паровые севообороты короткой ротации с большим насыщением пшеницей и высоким удельным весом чистых паров:

- трехпольные для районов с суммой годовых осадков менее 250 мм;
- четырехпольные с суммой осадков 250-300 мм;
- пятипольные и шестипольные зерно-паро-пропашные с суммой осадков свыше 300 мм.

На почвах легкого гранулометрического состава вводятся специальные почвозащитные севообороты с полосами многолетних трав. Вблизи животноводческих ферм вводят кормовые севообороты с фуражными, силосными и другими кормовыми культурами.

Фундаментом урожая в ротации севооборота является паровое поле, определяющее через правильность применения различных орудий обработки, своевременность воздействия на сорную растительность, культуру земледелия

во все последующие годы и на всех полях севооборота. Особенно большое внимание уделяется ветроустойчивости поверхности парового поля, водному и пищевому режимам почв.

Технология противодефляционной обработки почв чистого пара под яровую пшеницу включает четырехкратное рыхление почвы плоскорезами, начиная с глубины 10-12 см, с постепенным углублением при каждой обработке до глубины 16-18 см. Последнее, пятое, рыхление проводится глубокорыхлителем на глубину 25-27 см. Послойное, разноглубинное рыхление обеспечивает очистку полей от трудноискореняемой корнеотпрысковой сорной растительности, а последняя обработка глубокорыхлителем направлена на повышение водозапаса в почве.

Технология предпосевной противодефляционной обработки почв и посев культур включают операции по закрытию влаги игольчатой бороной и предпосевную обработку, посев, внесение гранулированных фосфорных удобрений культиватором-сеялкой.

Технология противодефляционной обработки почвы под вторую и третью культуры после пара базируется на применении мелкой (на глубину 10-14 см) осенней обработки почвы культиваторами-плоскорезами. При этом пожнивные остатки после культуры второго года сохраняются на поверхности поля на 90%. Это дает возможность накапливать влаги больше, чем при отвальной обработке зяби.

Технология противодефляционной предпосевной обработки полей с сохраненной стерней включает ранневесеннее боронование игольчатыми боронами и посев культиватором-сеялкой. Полный технологический набор операций по обработке почвы и посева культур во втором и третьем поле после пара состоит из четырех последовательных ступеней:

- совмещенное с уборкой рыхление почвы игольчатыми боронами для заделки семян сорной растительности и сохранения остаточных запасов влаги;
- осенняя обработка почвы плоскорезами на глубину до 12-14 см;
- весеннее закрытие влаги игольчатыми боронами;

– посев культуры культиваторами-сеялками или лушильниками-сеялками с одновременным внесением в рядки гранулированных фосфорных удобрений.

Технология противодефляционной обработки пласта многолетних трав, оцененная по выходу продукции с одного гектара, включает отвальный пар с глубиной вспашки 25-27 см и мелкое рыхление почвы плоскорезами в последующие два года.

Отвальная вспашка (пар, зябь) осенью перед уходом в зиму обеспечивает хорошую комковатость и ветроустойчивую поверхность поля, но к весне комковатость уменьшается ниже порога устойчивости. Поэтому пласт многолетних трав нужно распахивать полосами не шире 150 м и осваивать два года. Почвы с применением почвозащитной обработки имеют ветроустойчивую поверхность благодаря наличию поукосных остатков.

Полосное размещение паров и почвозащитные севообороты

Почвы легкого гранулометрического состава, практически лишенные агрономически ценной структуры, не поддаются полной защите от дефляции только стерневыми остатками, в том числе и по причине их недостаточного количества на единицу площади.

Исследования, проведенные в географической сети опытов различных природных зон, показали, что весенняя обработка на легких почвах дает лучшие результаты, чем осенняя. Технология обработки пара на легких почвах та же, что и на тяжелых, на них обязателен посев горчичных кулис. Под вторую и третью культуры после пара обработку проводят плоскорезами и переносят ее на весну, а при посеве культиваторами-сеялками никакой предварительной обработки не проводится. Осеннюю обработку плоскорезами применяют только при выпадении поздних осадков и появлении большого количества сорной растительности. Пласт многолетних трав обрабатывают безотвальными орудиями по типу полупара, сначала мелко плоскорезами и завершают глубокорыхлите-

лями на глубину до 20-22 см, с сохранением на поверхности почвы поукосных остатков.

Для защиты паровых полей на тяжелых и средних по гранулометрическому составу почвах и всех посевов однолетних культур на легких почвах вводят полосное размещение. При полосном размещении культур неустойчивые к дефляции поля располагают полосами между полосами с устойчивой к ветру поверхностью. Задача полосного размещения посевов состоит в том, чтобы воздушный поток, проносясь над серией преград, не схватывал мелкозем с защищаемых полос. Ширину полос определяют на основе изучения переноса мелкозема в натуре во время пыльных бурь или наблюдений за гибелью посевов во время их прохождений. Расстояние, на котором воздушно-пылевая масса достигает своего максимального насыщения механическими элементами, зависит от гранулометрического состава и степени распыления почвы. Поэтому ширину полос разрабатывают на основании результатов специальных исследований в натуре. В практике противодефляционной защиты почв ширина полос варьирует в пределах 50-200 м, а в качестве защитных растений используют многолетние целинные или сеянные травы.

При полосном размещении культур многолетние травы должны занимать не менее 50% площади, а защитные растения в полосах должны обладать высокой жаро- и засухоустойчивостью. Такие качества присущи, например, житнякам, эспарцету песчаному и растениям других экологических групп.

Важно отметить, что наибольший почвозащитный и хозяйственный эффект при полосном размещении культур достигается при формировании защитных и защищаемых полос одинаковой ширины, располагаемых в пространстве по перпендикуляру к наветренной границе.

Почвозащитные севообороты

Важная роль в системе защиты почв от дефляции принадлежит почвозащитным севооборотам.

На средних и тяжелых почвах полосы пара размещают между полосами зерновых культур. Эта совокупность чередующихся в пространстве устойчивых и неустойчивых полос при правильно установленной ширине соответствует уровню более устойчивых защитных полос.

При введении полосного размещения паровых полей в севооборотах четкой ротации (например, четырехпольных) на полосы делят сразу два поля, половину полос которых через одну обрабатывают как пар, а вторую половину полос засевают зерновыми культурами. Осенью, зимой и весной паровые полосы остаются под защитой стерни соседних полос. На следующий год паровые полосы засеваются, а полосы из-под зерновых культур отводят под пар, тем самым меняясь ролями в выполнении противодефляционных функций.

В севооборотах нечеткой ротации (например, трех- и пятипольных) отводят сначала одно поле под полосное размещение пара, а в следующем году – второе, что способствует восстановлению объема запланированных паров в данной природной зоне.

При введении почвозащитных, противодефляционных севооборотов на почвах легкого гранулометрического состава все поля разрезают на полосы соответствующей ширины, намечают ротацию севооборота с обязательным включением многолетних трав на столько лет, сколько в состав севооборота включается однолетних культур с паром.

В зависимости от экологических условий природной зоны характер функционирования противодефляционных севооборотов варьируется. Противодефляционный и хозяйственный эффект обеспечивается как трех-, пяти-, шестипольными, так и семи-, десятипольными севооборотами с четкой последовательностью размещения культур и жестким контролем их ротации. Например, десятипольные (во времени) севообороты с пятилетним пребыванием полос многолетних защитных растений в натуре размещают на пяти полях, врезая однолетние культуры и пар полосами в посеvy трав.

Сильно разрушенные дефляцией земли подлежат сплошному залужению многолетними травами, экология которых соответствует условиям конкретной

природной зоны. Технология залужения разрабатывается с учетом химических, физических и физико-химических свойств и гранулометрического состава почв, состояния поверхности разрушенных земель, погодных условий. Все составляющие компоненты и операции технологии сплошного залужения требуют тщательного системного изучения с целью адаптации ее к конкретным энерго-экологическим и хозяйственным условиям природной зоны.

Проблемы введения противодефляционных мероприятий на землях различных природных зон по своей сути являются однотипными независимо от форм собственности на землю.

Комплекс агротехнических мероприятий, состоящий из почвозащитной технологии возделывания сельскохозяйственных структур, полосного размещения паровых полей на средних и тяжелых по гранулометрическому составу почвах, специальных почвозащитных севооборотов на легких почвах, залужения дефлированных земель обуславливает коренное изменение всего принятого ранее организационного уклада. Введение противодефляционного комплекса мероприятий требует изменения устоявшейся потребительской психологии землепользователя, больших капиталовложений на замену морально устаревших орудий и машин, на теоретическое обоснование противодефляционных мероприятий, их технологическую апробацию и натурное внедрение. Проблема усугубляется необходимостью проведения дополнительных картографических, бонитировочных, землеустроительных и проектно-расчетных работ, которые должны осуществляться целым штатом профессиональных специалистов.

ТЕМА 8

ОПУСТЫНИВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ БОРЬБЫ С НИМ

Опустынивание – глобальное явление (процесс) природного и антропогенного характера, свойственное семиаридным и аридным территориям. Этой проблеме посвящены многочисленные труды одного из величайших почвоведов мира В.А. Ковды (1956; 1965; 1973; 1977; 1980; 1981; 1984; 1985; 1991 и др.).

Аридные и семиаридные земли занимают около 30% всей суши (50 млн кв. км). А если прибавить к ним районы, где засухи случаются раз в 7-10-12 лет, то тогда эти площади займут не менее половины суши Земли.

Северная Америка, Центральная Америка	4,5 млн кв. км
Южная Америка	3,5 млн кв. км
Европа	0,9 млн кв. км
Азия	14,6 млн кв. км
Африка	17,3 млн кв. км
Австралия	6,5 млн кв. км

Высокий биоклиматический потенциал семиаридных и аридных земель обеспечивает проживание 14% населения. (В пустыни – экстремальных условиях менее 1 чел/км², полупустыни – 100 чел/км², то в районах с развитым земледелием с орошением – 300 чел/км².)

Но геосистемы (агросистемы) аридных территорий чрезвычайно хрупки и чрезмерный антропогенный пресс (максимальное использование земельных ресурсов) ведет к неизбежной деградации агросистем и последующему опустыниванию.

Процесс опустынивания чрезвычайно сложен и неоднозначен, затрагивает не только природно-географические, но и социально-экономические аспекты. Это сильно затрудняет выявление общих принципов оценки этого явления, контроль, разработку мер борьбы с ним.

Не до конца сейчас ясно:

1) является ли опустынивание только антропогенным явлением. Не следует ли рассматривать его вместе (наряду) с естественными (природными) процессами;

2) опустынивание обратимый или необратимый процесс.

В 1990 году в Найроби решили: **«опустынивание – деградация земель в аридных, семиаридных и засушливых районах в результате антропогенного воздействия»**. Здесь понятие «земля» подразумевает почвенные, водные, растительные (естественные и культурные) ресурсы. «Деградация» – снижение ресурсного потенциала при воздействии на агросистему одного или комплекса (системы) процессов – водная и ветровая эрозия, уменьшение биомассы и разнообразия естественной и культурной растительности, засоления, подщелачивания почв и т.п. При этом не оговаривается «необратимость», потому что эти процессы бываю обратимыми и необратимыми. (Можно говорить об опустынивании почв, растительности.)

Системный характер явления опустынивания обуславливает изучение не только отдельных процессов, но и взаимосвязей между деградационными процессами.

Наблюдается разделение понятий «опустынивание» и «аридность». Климатический фактор сильно влияет на опустынивание (относится к важным факторам), но к деградации агросистемы (геосистемы) приводит не всегда. Нужно усиление воздействия на агросистему (геосистему) за счет других факторов: эрозии, засоления, деградации растительности и пр. Если имеется воздействие на почвы, грунтовые воды, биоту, рельеф, тогда происходят изменения агросистем. Перечисленные факторы – **агенты** опустынивания и одновременно **регуляторы** воздействия опустынивания на агросистему. Это еще раз подчеркивает, что опустынивание – это комплексный процесс и контролировать его следует с учетом характера взаимодействия агентов опустынивания.

Концепция опустынивания аридных и семиаридных экосистем

В 2003 году Россия присоединилась к Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием земель.

Общая площадь опустынивания по РФ составляет 1,3 млн км², ущерб от этого 0,7-1,0 млрд дол. в год. Это актуально для нас, так как полупустыни, степи, лесостепи русской равнины, занимая менее 10% площади, дают более 40% сельскохозяйственной продукции (по данным 1997 года). Именно здесь, на юге наблюдаются как природные, так и антропогенные процессы опустынивания.

Природные процессы – аридизация климата, ксерофитизация ландшафта – идут медленно (столетиями). Антропогенный фактор зависит от способа эксплуатации земель, усугубляет природное опустынивание и часто является результатом порочной практики земледелия.

Необходимо разграничивать природное и антропогенное опустынивание, чтобы избежать включение в зону опустынивания относительно благоприятных территорий (по Программе РФ – Татарстан, Самарская область, север Саратовской области).

Впервые дифференцированный взгляд на природное и антропогенное опустынивание сформулировали ученые при изучении динамики степных и пустынных почвенно-растительных сообществ.

Опустынивание превратилось в проблему мирового значения в 1968-1973 годах при засухе в зоне Сахеля – Мавритания, Сенегал, Мали, Верхняя Вольта, Нигер, Чад, а на востоке Африки Судан, Сомали, Эфиопия, Кения, Танзания. Погибло 250 тыс. человек, 2 млн скотоводов потеряли более половины поголовья, 1,5 млн крестьян получили менее половины обычного урожая. Начались исследования. На севере Африки (и на других континентах) пустыня поглощает 100 тыс. га сельскохозяйственных земель. Пески на дельту Нила и Судан наступают по 8-13 км/год.

Б.Г. Розанов обобщил данные ЮНЕП по антропогенному опустыниванию и разработал следующую классификацию процессов деградации по факторам хозяйственной деятельности:

- 1) деградация растительности и сопутствующая эрозия почв при чрезмерном выпасе;
- 2) усиление эрозии и дефляции засушливых земель при интенсивном богарном земледелии;
- 3) уничтожение растительного покрова при заготовке топлива;
- 4) разрушение растительности и почв при дорожном и индустриальном строительстве населенных пунктов и ирригационных сооружений;
- 5) разрушение растительности автотранспортом;
- 6) уничтожение растительности скотобоем у водопойных колодцев;
- 7) вторичное засоление, подщелачивание, подтопление орошаемых земель и прилегающих территорий;
- 8) увеличение площадей солончаковых пустынь в бессточных бассейнах.

В.А. Ковда был признан «первым почвоведом» мира. В 1958-1965 годах был директором Департамента точных и естественных наук ЮНЕСКО, организатором проекта «Почвенная карта мира ФАО/ЮНЕСКО» (1960-1965). В 1977 году написал очень важный труд «Аридизация суши и борьба с засухой» с фундаментальной концепцией опустынивания.

Сухостепные, полупустынные и пустынные ландшафты и их почвы имеют важное биосферное, народнохозяйственное и социальное значение во многих странах мира. Однако экологическая и социально-экономическая роль их недооценивается, что во многом предопределяет нерациональное использование ресурсов и широкомасштабную деградацию ландшафта. Это выражается в прогрессирующем антропогенном опустынивании – распространении или интенсификации пустынной экологической ситуации, при которой продуктивность территории снижается до уровня характерного для пустынь под воздействием природных факторов и/или деятельности человека. В настоящее время признается возрастающая роль деградирующих регионов биосферы в силу ут-

раты и ослабления своих естественных экологических функций почвенного покрова, прогрессирующего вторичного засоления ощелачивания и загрязнения почв, возрастающего преобладания литогенных процессов над педогенными, существенного ухудшения медико-санитарных показателей среды обитания человека, исчезновения приемлемых условий для поддержания и развития традиционных форм хозяйствования.

С целью незамедлительного прекращения процессов опустынивания таких регионов, улучшения экологической обстановки и восстановления этих территорий как крупных и экологически выгодных кормовых баз для развития овцеводства и возвращения на атропогенные пустыни пастбищ полусаванн и саванн, должен быть разработан и реализован в натуре комплекс мер, главными составляющими которого должны стать:

- 1) Анализ современного использования земельного фонда и состояние сельскохозяйственного, водохозяйственного, лесохозяйственного и промышленного производства.

- 2) Разработка и апробирование схем по перспективному развитию региона и в первую очередь сельского хозяйства.

- 3) Определение объема фитомелиоративных, агролесомелиоративных и организационно-хозяйственных мероприятий, их состава, технологического режима, очередности и стоимости.

- 4) Разработка новых и внедрение апробированных практических рекомендаций по улучшению и восстановлению пастбищ на почвах различных таксономических уровней, защите почв от эрозии, дефляции, засоления, ощелачивания, заболачивания, загрязнения, подтопления, уплотнения, опустынивания (снижении биопродуктивности).

- 5) Для этих целей должна разрабатываться система экологических ограничений техногенеза в виде нормативов по предельно допустимому «давлению» на единицу площади, режиму ее использования, а также осуществлена типизация земельного фонда, в основу которой должен быть положен элементарный ареал ландшафта;

6) Организация семеноводства луговых, пастбищных, кормовых, зерновых, овощных и бахчевых культур и питомников древесных и кустарниковых, в том числе и плодово-ягодных культур, адаптированных для данного региона, обладающих не только резистентным, но и высоким фотосинтетическим потенциалом.

7) Разработка и внедрение экологически безопасных и экономически корректных мероприятий по снабжению пастбищ, населенных пунктов и фермерских хозяйств «чистой» водой, теплом, электроэнергией и топливом, по совершенствованию звеньев всей технологической и эксплуатационной цепи по накоплению, забору, транспортировке воды и ее распределению по орошаемым системам. Решающим (определяющим) критерием соответствия технологий мероприятий требованиям экологической безопасности водоснабжения и орошаемого земледелия является сведение к минимуму непроизводительных потерь воды (инфильтрации, испарение, сброс) и удельных затрат на производство продукции животноводства и растениеводства. Это потребует, в частности, облицовки каналов, строительства закрытых водоводов, использования противоиспарительных экранов над зеркалом воды в искусственных водоемах, противофильтрационных экранов под орошаемыми системами, замены наземного способа распределения воды на орошаемых массивах (дождевание, самотечный полив, затопление) на капельное и подпочвенное орошение, применения системы возврата и повторного использования сбросных вод.

8) Разработка технологических приемов и принципов управления технологическим прогрессом, которые сводили бы к минимуму их непредвиденные отрицательные воздействия на состояние окружающей среды. Это возможно лишь при всестороннем прогнозировании развития и функционирования технологических нововведений. Поэтому первоочередное значение имеют «местные» технологии, которые как комплекс мер должны быть апробированы и увязаны с системой хозяйствования в целом.

9) Создание и строжайший контроль функционирования нормативов по обеспечению экологически комфортных условий местообитания человека, его правовой и социальной защищенности, экономической заинтересованности, с

одновременной экономической ответственностью за деяния, приводящие к деградации окружающей среды.

Наконец, следует ожидать, что усилия по нейтрализации проблемы опустынивания должны быть сконцентрированы на изменении психологии природопользователя, структуры и способов землепользования и ведения хозяйства. Малоэффективность всего комплекса работ может определяться в первую очередь потребительской психологией человека и сохранением интенсивного пастбищного скотоводства, постоянно нарушающих и разрушающих природные комплексы.

Опустынивание: рациональное использование пастбищ и агролесоводство

Создание сплошного «зеленого пояса» из лесных насаждений, по мнению западных специалистов и экспертов международных организаций, представляется дорогостоящим мифом, обреченным на провал.

Малоэффективность создания «зеленых поясов» может определяться сохранением в районах их создания интенсивного пастбищного скотоводства, постоянно нарушающего и разрушающего природные экосистемы. Скорее всего усилия по борьбе с опустыниванием должны быть сконцентрированы на изменении структуры и способов землепользования и ведения хозяйства.

Например, для снижения интенсивности выпаса скота заслуживает внимания мнение экспертов о возможности и целесообразности выращивания фуражных структур (при наличии источников воды и научно-обоснованных технологий, подготовленного технического персонала и т. д.).

Опустынивание: охрана песчаных почв

Широкомасштабная деградация биосферы во многих природных зонах мира выдвигает на важное место проблему охраны песчаных территорий от дальнейших повреждений при проведении работ по снижению проявлений

процессов опустынивания (использование естественной растительности, механическое разрушение поверхности в связи со строительством дорог, промышленных объектов и др.). Неотъемлемым компонентом природоохранного комплекса в этих регионах являются работы по закреплению подвижных песков.

В настоящее время в мировой теории и практике накоплен и обобщен значительный опыт работ по облесению и закреплению подвижных песков: подробное описание методики проведения фито-мелиоративных работ и ассортимент древесных и кустарниковых пород, который используется в различных природных зонах, удельная стоимость облесения, объем капиталовложений, максимальная отдача, экологический эффект и т. д.

Опустынивание: сбережение энергии

По мнению экспертов международных организаций, одной из основных причин опустынивания, которое обычно является следствием нескольких, не обеспечивающих восстановление ресурсов, видов деятельности, может быть чрезмерно высокий уровень расходования древесины (2,5-3 тонны на семью из 5-6 человек в год на приготовление пищи и обогрев помещений), мазута, солянки, электроэнергии от тепловых электростанций.

Одновременно отмечается ситуация, что деградирующие ландшафты в различных природных зонах, как правило, являются наиболее инсолируемыми регионами. Данный факт может предопределить поиск путей сбережения всех видов энергии посредством аккумуляции солнечной энергии. В связи с этим предполагается широкое внедрение солнечных нагревателей и опреснителей воды, хотя бы в коллективных местах и общественных службах (больницах, аптеках, школах, детских учреждениях, кафе, столовых, административных службах и т. д.), а также в хозяйственных помещениях (фермы, склады, перерабатывающие предприятия и т. д.). По мнению экспертов, перевод приготовления пищи на «солнечные кухни» позволил бы сэкономить многие миллионы тонн леса и миллиарды кВт.ч. электроэнергии.

Сбережение топливной древесины может проводиться также за счет использования различных брикетированных отходов сельскохозяйственной продукции.

Малогабаритные солнечные энергоустановки (например, французского производства, поставляемые в страны Африки), преобразующие солнечную энергию в постоянный ток, обеспечивают подъем до $15 \text{ м}^3/\text{сут}$ воды с глубины до 25 м. Такого количества воды достаточно для водопоя нескольких сот голов животных, а также для нужд ста жителей.

В большей части районов, где сельское население рассредоточено на площади полупустынь и пустынь, считается целесообразным использование гелиопреснительных установок, производительностью до $5\text{--}6 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Это позволяет полностью обеспечить потребности индивидуального местообитания в воде.

Важная роль в сбережении энергетических ресурсов в полупустынных и пустынных регионах природных зон отводится также использованию силы ветра посредством строительства ветроустановок различных конструкций и с разным коэффициентом полезного действия.

ТЕМА 9

ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ

9.1. Общие вопросы засоления почв

Засоленные почвы во многих странах мира занимают большую площадь. Исследование этих почв имеет научное и практическое значение в связи с тем, что «под орошение вовлекаются все большие площади с новыми типами почв и земель, изменяются технология орошения и возделывания растений, состав сельскохозяйственных культур, система гидротехнических сооружений, регулирование распределения оросительной воды по территории и т.д.» (Н.Г. Минашина, 1978, с.3).

Наличие солей в корнеобитаемом слое почвы создает неблагоприятные условия для выращивания растений.

Анализ данных различных авторов по засоленным почвам в СССР показывает что распространение различных засоленных почв определяется типом физико-географической зоны.

В пустынной зоне, в депрессиях рельефа, по морским побережьям и берегам соленых озер преобладает сульфатно-хлоридное и хлоридное засоление. В полупустынных и сухих степях, характеризующихся солончаковыми и солонцовыми комплексами, доминируют сульфатные и реже хлоридные соли.

Процесс засоления почв определяется температурой, осадками, параметрами воздушного потока, испаряемостью, изменением уровня грунтовых вод и их минерализацией, направлением и скоростью оттока, строением, гранулометрическим составом, структурой, водопроницаемостью почв, наличием растворимых солей и обменных катионов, агротехническими условиями, системой обработки почв, возделываемыми культурами, режимом и способом орошения, качеством инженерных гидромелиоративных сооружений и используемых для орошения вод.

Наиболее активное засоление почв наблюдается при аридном и экстра-аридном климате, который характеризуется превышением испарения над поступающими атмосферными осадками.

Возрастающая роль антропогенного фактора на вторичное засоление отмечалась в работах ряда авторов. В настоящее время около 33% орошаемых земель мира подвержены вторичному засолению, которое особенно проявляется в аридных зонах. Вторичное засоление приводит к катастрофически быстрому снижению плодородия орошаемых почв, вследствие накопления солей в корнеобитаемом горизонте (Ковда В.А., 1981).

9.2. Засоление почв и сельскохозяйственные культуры

Солевыносливость культурных растений определяется многими факторами. Она приобретается и развивается растениями в процессе индивидуального отбора и зависит от условий окружающей среды. Поэтому даже для одного вида культур солеустойчивость может быть различной и определяется происхождением семян, продолжительностью выращивания растения на засоленной почве, типом корневой системы и почвенных профилей, а также наличием легкоусвояемой влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы.

Соли оказывают двоякое влияние на растения: во-первых, с накоплением солей в почве увеличивается осмотическое давление почвенного раствора, лимитирующее запасы легкоусвояемой влаги и снижающее водопотребление и, во-вторых, ряд солей при проникновении в клетки растений вызывают отравление растительного организма, т.е. действуют как особый яд.

В засоленных почвах при низкой влажности осмотическое давление почвенного раствора превышает осмотическое давление клеточного сока. В результате наступает физиологическая засуха, вызванная нарушением потребления воды и элементов питания растением, что в свою очередь приводит к анатомическим, морфологическим и физиологическим изменениям в растении (А. Демолон, 1961; Л.М. Томпсон, Ф.Р. Трой, 1982).

Адаптация растения к этим условиям приводит к тому, что высокому осмотическому давлению почвенного раствора противостоит увеличивающееся осмотическое давление клеточного сока.

При высоком увлажнении и высоком содержании гумуса в почве солеустойчивость растений повышается. Реакция различных культур на соли зависит от фазы роста и развития, при этом все культуры имеют пониженную солеустойчивость в начальной фазе роста.

Большое значение для солевыносливости растений имеет токсичность ионов некоторых элементов. Так, токсичность натрия обусловлена повышением осмотического давления почвенного раствора. Известно, что натрий является конкурентом кальция, магния и калия в процессе поглощения их растениями. Для некоторых растений при низком осмотическом давлении магний более токсичен, чем кальций. Наибольшей токсичностью для растений, как показал Ковда (1968), обладают бикарбонаты щелочей (особенно Na_2CO_3), меньшей – хлориды и нитраты и наименьшей – сульфаты.

Содержание хлор-иона 0,05-0,1% при общем содержании солей 0,4-0,8% (хлоридный тип засоления) приводит к ненормальному развитию сельскохозяйственных культур и снижению урожая, а при 1,5% большинство растений не дают урожай. При содовом засолении заметное угнетение растений начинается при содержании иона HCO_3^- 0,08% и pH 8,7-9,0, дальнейшее увеличение HCO_3^- до 0,1-0,2% и pH 9,5-10,0 приводит к гибели культурных растений. При содержании обменного натрия 10-15% от емкости поглощения начинается слабое угнетение растений, а при увеличении содержания обменного натрия в 2 раза угнетение достигает больших размеров.

На почве с хлоридно-сульфатно-натриевым типом засоления при содержании хлор-иона 0,18-0,27% урожай зерна пшеницы по данным В.А. Ковды снизился на 26-32%, продуктивная кустистость – на 22-28%, густота стояния на 2,4-15,6% по сравнению с контролем. При сульфатном типе засоления (содержание хлор-иона до 0,1%) потери урожая распределяются равномерно за счет снижения продуктивной кустистости. На 23,2-26,3% снижается масса зерна од-

ного колоса при сульфатно-кальциево-магниевом и сульфатно-магниевом-кальциевом типах засоления. Сульфатно-натриевое засоление снижает продуктивную кустистость и уменьшает массу зерна одного колоса. При сульфатно-натриево-кальциевом – наблюдаются такие же потери в продуктивности растений.

Рассмотренные данные позволяют сделать вывод, что избыточное содержание солей в корнеобитаемом слое почвы приводит к задержке развития растений, расстройству их жизненных функций и, как следствие, к уменьшению урожая, снижению отзывчивости зерновых и овощных культур на внесение удобрений.

«Высокой солеустойчивостью» характеризуются: свекла столовая, капуста, спаржа, шпинат, сахарная свекла, редька, ячмень, хлопчатник и др. «Средняя солеустойчивость» присуща следующим растениям: виноград, томаты, капуста кочанная, капуста цветная, салат-латук, картофель, морковь, горох, тыква, донник белый, суданская трава, люцерна, овсяница высокая, рожь, пшеница, овес, ежа сборная, овсяница луговая, костер безостый, рис, сорго, кукуруза, подсолнечник. «Низкая солеустойчивость» характерна для большой группы растений, наиболее важными из которых являются: груша, яблоня, слива, миндаль, абрикос, персик, земляника, редис, сельдерей корневой, фасоль стручковая, клевер ползучий, лисохвост луговой, клевер гибридный, клевер луговой, бобы конские (Л.М. Томпсон, Ф.Р. Троу, 1982).

9.3. Мелиорация засоленных почв

Засоленные почвы (солончаки, солонцы, засолено-солонцовые почвы) требуют большого внимания в условиях орошаемого земледелия. Зарубежные исследователи, например, Л.М. Томпсон и Ф.Р. Троу (1982) подразделяют проблемы, связанные с использованием засоленных почв, на химические и физические.

Химические проблемы связаны со снижением доступности фосфора, калия и большинства питательных микроэлементов. Дефицит железа – обычное явление в этих почвах. Кроме того, многие засоленные почвы содержат так много растворимых солей, что растения с трудом адсорбируют воду и осмотическая концентрация в почвенном растворе может стать выше, чем в растительных клетках.

В изложении Томпсона Л.М. и Троу Ф.Р. физические проблемы связаны с диспергированием почвенных коллоидов. «Диспергированные частицы закупоривают поры, на почве образуется корка. Проницаемость... почв падает настолько низко, что уступает скорости испарения. При такой низкой проницаемости рост растений невозможен, а внесение химических мелиорантов в почву с целью ее улучшения осложнено» (Томпсон Л.М., Троу Ф.Р., 1982, с.188).

Влияние повышенного содержания натрия на рост всходов пшеницы Томпсон Л.М. и Троу Ф.Р. иллюстрируют следующими данными (Табл. 9.1).

Таблица

Влияние увеличения Na на pH почвы и рост пшеницы в сосудах с легкой суглинистой почвой (по Poonia S.R., Virmani S.M., Bhumbra D.R., 1972)

Вариант опыта	Ca	Mg	Na	рН почвы	Всхожесть, % к контролю	Сухое вещество через 50 дней, г/сосуд
	Мэкв/100 г почвы					
1	36,2	25,6	3,45	8,1	100	32,5
2	31,5	26,0	7,15	8,9	97	27,2
3	25,6	30,2	8,79	9,3	85	19,7
4	27,4	30,8	14,33	9,5	80	17,1

Анализ приведенных данных показывает, что внесение NaHCO_3 в почву привело к увеличению концентрации Mg и Na, повышению pH почвы и в тоже время к снижению концентрации Ca, всхожести семян и выхода сухого вещества. Самая высокая доза NaHCO_3 , отмечают Томпсон и Троу, снижала всхожесть семян на 20%, а образование сухого вещества – почти наполовину относительно к контрольному варианту.

Приемы, необходимые для повышения продуктивности засоленных почв, меняются в зависимости от характера проблем.

Засоленные почвы обычно содержат более 0,2% растворимых солей. Большинство солей имеет нейтральную или близкую к нейтральной реакцию, но некоторые являются щелочными, поэтому уровни pH обычно колеблются между 7,3 и 8,5. Соли перемещаются в почвах вверх и вниз вместе с почвенной или оросительной водой.

В солонцовых почвах поглощающий комплекс в той или иной мере (обычно более 15%) занят «... ионами Na^+ при низком содержании растворимых солей. Результатом такого сочетания являются диспергированность коллоидов и pH выше 8,5, высокий уровень которого обусловлен активностью основных ионов Na^+ в растворе. Они составляют более 15% катионов, так как почти любой другой катион адсорбируется мицеллами лучше, чем натрий. Определенные соли натрия, например Na_2CO_3 , адсорбируют H^+ из воды; остающиеся ионы Na^+ и OH^- создают сильную щелочную реакцию NaOH в растворе» (Л.М. Томпсон, Ф.Р. Троу, 1982, с.190).

Солонцовые почвы труднее всего поддаются мелиорации. Они содержат диспергированные коллоиды, отличаются очень низкой проницаемостью и практически не поддерживают рост растений.

В засолено-солонцовых почвах высокое содержание солей, характерное для засоленных почв, сочетается с высоким содержанием обменного Na. В солевой лаборатории США (цитируется по Л.М. Томпсону и Ф.. Троу, 1982, с.189-190) для определения засоленности используют электропроводность насыщенного почвенного вытяжка, для приготовления которой в почву добавляют количество воды, достаточное для заполнения всех пор. С помощью вакуума из почвенной пасты извлекают насыщенную вытяжку, в которой измеряется электропроводность. Почвы по традиции относят к засоленным, если электропроводность их вытяжки превышает 4 миллисименса/см (мсим/см). В начале 70-х годов этот предел был уменьшен до 2 мсим/см (миллисименс равен 0,001 сименса – основной единицы электропроводимости. При измерениях с помощью

пластин площадью 1 см^2 , расположенных друг от друга на расстоянии 1 см, получают миллисименсы на сантиметр).

В засолено-солонцовых почвах рН обычно колеблется от 8,0–8,5. По другим свойствам эти почвы сходны с засоленными, но при промывке они превращаются в солонцовые почвы. Хотя часто засоленные и засолено-солонцовые почвы выглядят внешне одинаково, их принято идентифицировать, в связи с тем, что засоленные почвы легко поддаются мелиорированию с помощью промывки, в то время как засолено-солонцовые почвы промываются труднее, а без внесения химических мелиорантов сильно истощаются при промывке.

Вопросам генезиса и мелиорации засоленных почв посвящена обширнейшая литература советских и зарубежных исследователей, которая широко известна в научном мире. Но, как отмечал В.А. Ковда (1984, с.149), «каждая крупная территория – специфическая и неповторимая в мелиоративном отношении. Поэтому в каждом случае научный фундамент и инженерно-агрономическое решение проекта орошения... должны разрабатываться не догматически, а творчески, оригинально, с учетом возможных изменений природных условий в перспективе».

Характерно, что теория и практика мелиорации засоленных земель, разрабатываемые советскими авторами, базируется на ряде фундаментальных положений, среди которых необходимо отметить следующие.

Во-первых, это бесспорные научные положения геохимической природы соленакопления. Во-вторых, обязательный учет и творческое использование опыта мелиорации. В-третьих, надлежащая оценка уровня грунтовых вод и их минерализации в возникновении засоленных почв. В-четвертых, учет ионного состава солей в почвах и солей, находящихся не в растворе, а в осадке. В-пятых, учет критического уровня и режима, критической минерализации грунтовых вод. В-шестых, это необходимость капитальных мелиоративных промывок солей, снижения уровня и опреснения соленых грунтовых вод с помощью горизонтального дренажа или их отрыва от почвы с помощью вертикального дренажа (В.А. Ковда, 1984).

Передвижение солей в естественных условиях происходит диффузным путем. Инфильтрационная вода не всегда идет в полном контакте с почвенным раствором и почвой. Часть ее фильтруется через большие поры, идет вниз без эффективного взаимодействия с солями. Соли передвигаются в направлении движения воды, хотя не всегда соблюдается эта закономерность. Диффузия в почве может тормозить движение солей или воды. Отмечено много случаев несоответствия скоростей передвижения растворимых солей и воды в почве. При выщелачивании равных долей исходного солевого запаса по мере опреснения затрачивается не одинаковое количество воды (В.Р. Волобуе, 1975). Выявлена обратная связь: большая скорость фильтрации соответствует меньшему показателю солеотдачи.

Опытным путем была установлена зависимость выщелачивания солей от влажности почвы, степени засоления и гранулометрического состава. Минашина Н.Г. (1972) рекомендует подходить к определению промывной нормы на засоленных почвах с учетом закона действующих масс, который регулирует процессы десорбции солей и поглощенных ионов при выщелачивании. Вынос солей из почвы осуществляется гравитационными токами воды (Н.Г. Минашина, 1972; В.Р. Волобуев, 1975), свежие потоки воды обогащаются солями из адсорбционно-удерживаемых почвенных растворов. Механические свойства и структура почвы определяют соотношение между адсорбционной и гравитационно-подвижной водой.

В.Р. Волобуев (1975) различает активные и пассивные движения солей. Активные формы движения – диффузное растворение, распределение в дисперсионной среде, адсорбция и диффузия в дисперсионной среде. Пассивные формы – молекулярное и капиллярное рассасывание, перемещение с фильтрационным током, выщелачивание смыванием по трещинам, конвективное перемещение. При промывке участвуют все формы перемещения солей при разном их соотношении в зависимости от конкретных условий.

При растворении и выщелачивании солей при промывке вода растворяет соли в почве, извлекает диффузно-осмотическим током солевые растворы из капилляров структурных агрегатов, из сорбированных водных пленок.

В более глубокие горизонты, из корнеобитаемых, соли выносятся плотными солевыми растворами. Новые порции поступающей промывной воды, расположенной выше, выталкивают и замещают соленосные солевые капиллярные растворы. Своей массой последующие промывные воды оттесняют предыдущие порции промытых солей и минерализованные грунтовые воды в дренажные системы или водопоглощающие горизонты (В.А. Ковда, 1981).

Выщелачивание солей при мелиорации засоленных почв – очень сложный и не механический процесс (В.А. Ковда, 1981). В процессе выщелачивания, по мнению В.А. Ковды (1981), происходит следующее:

- выносятся прежде всего наиболее растворимые соли. Сульфаты и карбонаты натрия обычно отстают от хлоридов натрия и кальция и от сульфатов магния;
- возникают обменные реакции между солями раствора и поглощающим комплексом почв с вытеснением или поглощением обменных натрия и магния, а также новообразования сульфатов и бикарбонатов за счет гипса и углекислого кальция;
- при близком залегании грунтовые воды подпитывают снизу почву, блокируют нисходящие токи солей и в жаркую погоду при значительном испарении возвращают соли назад в верхние горизонты.

При оптимальной солее- и водоотдаче почв для удаления 1 тонны растворимых солей с 1 га необходимо использовать 100-300 метров кубических оросительной воды.

Как показывают результаты исследований, необходимо учитывать большую неравномерность опреснения почв при промывке сплошным затоплением всей площади междурядий, пестроту засоления при промывке. Для достижения общего глубокого коренного опреснения почв, грунтов и грунтовых вод

необходимо проводить одновременное рассоление на больших массивах: сначала на 2-3 метровую толщу, а затем на 10-метровую глубину.

При капитальных промывках расчетный слой должен быть 1 м, однако, он может быть увеличен до 2,5 м в случае опасности реставрации засоления (М.Г. Минашина, 1972). Соблюдение этих критериев позволяет избежать ухудшения свойств почвы и увеличить эффективность использования промывной воды.

Если при промывке имеет место непрерывное затопление и дренажная сеть не справляется с отводом воды, эффект помывки снижается, причем в почве развиваются анаэробные процессы с образованием H_2S и CH_4 (В.А. Ковда, 1981).

По данным В.Г. Ларешина (1971) эффективность рассоления почв в одних и тех же условиях при непрерывной подаче воды всегда ниже по сравнению с дробной подачей. Это обусловлено тем, что в первом случае сток воды насыщает почву и часть воды теряется без эффекта, а во втором – сток воды идет вниз без постоянного насыщения почвы.

Для продолжения процесса опреснения нижних слоев почв и грунтов необходимо периодически промывать почву при подаче промывной нормы, превышающей полевую влагемкость корнеобитаемого слоя.

В.А. Ковда (1968) различает два периода в мелиорации засоленных почв: 1) мелиоративный и 2) эксплуатационный. В первом периоде для опреснения глубоких слоев грунтов и грунтовых вод следует обеспечивать предполивную влажность около 70% от ППВ. Во втором, эксплуатационном, периоде в течение ряда промывок поле занимается поливными травами или солеустойчивыми культурами (сорго, ячмень, рис), что окупает затраты на мелиорацию (Ковда, 1981).

Длительное засоление почв и использование больших промывных норм ухудшает физические условия почв и питательный режим. Поэтому для закрепления благоприятного солевого режима и повышения плодородия почвы необходимо применять средства агротехнической и биологической мелиорации.

9.4. Опыт мелиорации почв солонцовых комплексов в Прикаспийской низменности

В годы широкого освоения целинных земель значительная часть почв солонцового комплекса в Прикаспийской низменности была распаханна. Например, по данным А.Ф. Большакова (1969), в некоторых колхозах Палласовского района площадь распаханной земель, занятых почвами солонцового комплекса, достигала 30%; в других районах, например, в Джаныбекском, обрабатывалось только около 6-10% площади.

Анализ материалов показывает, что урожаи сельскохозяйственных культур на почвах солонцового комплекса неустойчивы, в засушливые годы посевы гибнут; в средние по увлажнению годы состояние посевов очень пестрое: сравнительно хороший урожай получается на темно-цветных почвах западин, средний – на светло-каштановых почвах и плохой – на 50% площади, занимаемой солонцами (А.Ф. Большаков, 1969). В годы, благоприятные по количеству и распределению атмосферных осадков, получали высокие урожаи со всей площади почв солонцового комплекса.

Устойчивые и сравнительно высокие урожаи могут быть получены при условии мелиорации солончаковых солонцов и дополнительного увлажнения за счет снегозадержания или орошения. Мелиорация облегчается тем, что в почвах солонцового комплекса среди засоляющих их солей на небольшой глубине от поверхности содержатся значительные количества солей кальция (гипса и карбонатов), которые могут быть вовлечены путем применения мелиоративной вспашки на глубину 45-50 см и использованы в качестве мелиорантов (А.Ф. Большаков, 1969).

В результате применения мелиоративной плантажной вспашки, последующей обработки, способствующей перемешиванию поднятого пласта, производства планировочных работ и дополнительного увлажнения (за счет снегозадержания или орошения) почвенный покров выравнивается, комплексность по-

степенно сглаживается. Особенно быстро сглаживаются различия между солонцами и светло-каштановыми почвами (А.Ф. Большаков, 1969).

Характеризуя водный и солевой режимы почв солонцового комплекса северной части Прикаспийской низменности, следует отметить следующие особенности, выявленные в результате многолетних (с 1952 года) исследований на Джаныбекском стационаре. Во-первых, водный режим солонцов и светло-каштановых почв целинной степи преимущественно не промывной с элементами десуктивно-выпотного, в отличие от периодически промывного режима, характерного для темноцветных почв западин. Водный режим мелиорируемых солонцов и светло-каштановых почв является периодически промывным. Во-вторых, в профиле почв солонцового комплекса возникает и существует весь год, прерываясь лишь в случае сквозного промачивания, восходящий ток влаги, сопровождающийся подтягиванием солей к корнеобитаемому слою. Однако в многолетнем цикле преобладает нисходящее передвижение солей. В-третьих, режим влажности и режим солей темноцветных почв западин под влиянием растущих на них древесно-кустарниковых кулис изменяются. Десуктивно-выпотной водный режим с периодическим сквозным промачиванием обуславливает приток минерализованных грунтовых вод из-под соседних светло-каштановых почв и солонцов, что, в свою очередь, способствует увеличению концентрации солей в зоне капиллярного насыщения в почвах западин и, вероятно, пространственному выравниванию степени засоления компонентов солонцового комплекса.

О существенном изменении почв лугово-степных солонцовых комплексов под влиянием мелиоративных приемов свидетельствуют данные Малоузенской опытной станции (С.Г. Васильева, 1969). Примечательна деталь, сообщаемая Васильевой С.Г.: в результате проведения глубоких мелиоративных вспашек в 1930 и 1950 гг. и гипсования почв в 1950 г. в условиях орошения в настоящее время почвенный покров представлен окультуренными каштановыми почвами.

Б.А. Зимовец (1991) на основании исследований, проведенных на землях ряда систем орошения, сообщает о стадийности изменений, происходящих на орошаемых землях. Первая стадия, продолжительностью от 3-5 до 6-8 лет, характеризуется активным подъемом уровня грунтовых вод и увеличением их минерализации, медленным удалением солей из зоны аэрации почв в грунтовые воды и заметным перераспределением солей между компонентами солонцового комплекса. Вторая стадия, длительностью от 5-8 до 10-12 лет, характеризуется критической глубиной грунтовых вод (1,8-2,0м), их повышенной минерализацией (10-12 г/л) и появлением очагов сезонного и постоянного вторичного засоления почв.

Далее отмечается необходимость учета стадийности изменений почвенно-гидромелиоративных условий при планировании и разработке «общих и специфических (первоочередных) мероприятий, направленных на улучшение состояния орошаемых земель, а также необходимость выяснения возможностей исключить переход ко 2-й стадии» (Б.А. Зимовец, 1969, с.23).

Для автоморфных территорий (высоких террас крупных рек) первостепенное значение имеют агротехнические и агромелиоративные мероприятия, направленные на ликвидацию имеющихся солонцов, и окультуривание пятен «срезанных» почв, а также меры по регулированию норм и сроков полива, чтобы исключить или задержать, подъем уровня грунтовых вод.

Для полугидроморфных территорий (низкие террасы и равнины со слабым естественным стоком грунтовых вод) на первом плане стоят инженерно-гидротехнические мероприятия, способные обеспечить прежде всего усиление оттока грунтовых вод и стабилизацию их уровня ниже критических глубин или поддержание их минерализации ниже критической величины (Б.А. Зимовец, 1991).

При освоении земель, занятых почвами солонцового комплекса, особое значение имеет ликвидация пестроты плодородия орошаемых полей и создание высокоплодородного пахотного горизонта почв. По мнению Зимовца Б.А. (1991): «в условиях полупустынных степей с комплексным почвенным покро-

вом правильно запроектированная и хорошо выполненная планировка полей должна обеспечить сохранение гумусового горизонта почв, с другой – ликвидацию (снятие и удаление) солонцового слоя. Выполнение этих мероприятий обеспечивает активное удаление солей из зоны аэрации и подготовку почв для получения высоких и устойчивых урожаев поливных культур.

Характеризуя опыт мелиорации комплексных солонцов пустынно-степной зоны Волгоградского Заволжья, автор отмечает неравномерность удаления солей из солонцов и каштановых почв при орошении. Эта неравномерность определяется главным образом исходными физическими, физико-химическими и химическими свойствами верхних горизонтов почв, «... пестрота которых еще более усиливается их изменением после проведения строительной планировки полей».

На степных массивах Приволжской гряды, «где после планировки полей почти повсеместно сохранился мощный (до 20-25 см) солонцовый горизонт...», удалось снизить концентрацию солей только в верхних 1,5 м до уровня меньше 3-5 г после пятилетнего срока орошения по крупным чекам, оросительной нормой 2-2,5 тыс. м³/га ежегодно. За этот же срок орошения каштановые почвы почти полностью опреснились до глубины 8-9 м.

На лугово-степных массивах Хвалынской равнины на участках с частично нарушенным солонцовым слоем в аналогичных условиях орошения вынос солей в первые 2-3 года наблюдается лишь в пределах верхнего мертвого слоя. «При этом в пахотном горизонте (0-30 см) концентрация почвенных растворов остается в пределах 7-8 г/л, а содержание хлора – около 0,2-0,4 г/л, что является токсическим уровнем для многих орошаемых культур данной зоны, в том числе пшеницы и кукурузы» (с.29).

«По-разному складывается солевой режим грунтовых вод на этих участках. В условиях сохранения солонцового слоя минерализация грунтовых вод в течение первых 2-3 лет орошения остается без изменения, затем увеличивается в степных солонцах до 8-20 г/л, в лугово-степных – до 25-35 г/л. В условиях полного разрушения солонцового слоя минерализация грунтовых вод в первые

же 2 года орошения резко возрастает до 50-70 г/л. В последующем наблюдается опреснение верхнего слоя грунтовых вод до 5-7 г/л».

Далее автор отмечает: «Для равномерно-активного удаления солей из почв при орошении необходимо полное и повсеместное разрушение солонцового горизонта, которое можно выполнить не только специальной мелиоративной вспашкой или гипсованием, но и строительной планировкой полей...».

Исследованиями Е.А. Зверевой (1969), выполненными на мелкоделяночных опытах в совхозе им. Мичурина Астраханской области, подтверждена эффективность различных мелиоративных обработок на солонцах в условиях орошения. Показано, что оставление на поверхности почвы при трехъярусной вспашке материала из горизонта «В» солончакового солонца, содержащего до 40% поглощенного натрия от емкости обмена, обуславливало низкую водопроницаемость, когда поливная норма 600 м³/га впитывалась на 3-4 сутки после полива, тогда как плантажной – поливная норма впитывалась за несколько часов. Как следствие различной водопроницаемости достаточное рассоление корковых солонцов достигнуто к концу третьего года освоения в метровом слое почвы на участке с плантажной вспашкой, в полуметровом слое – по трехъярусной, и в 40-сантиметровом, в случае обычной вспашки на глубину 18-19 см. Изменялся и темп рассолонцевания: к концу второго года освоения содержание обменного натрия в слое 0-60 см по плантажной вспашке снизилось на 67%, по трехъярусной на 54% и контроле – только на 26%. Урожай помидоров в 1956 году по плантажной вспашке составил 0,908 т/га, по трехъярусной – 0,619 т/га, на контроле – 0,305 т/га, а в 1957 году соответственно – 0,617 т/га, 0,541 т/га и 0,420 т/га.

«При освоении средних солончаковых солонцов... достаточно быстрая промывка солей обеспечивалась как по плантажной, так и по трехъярусной вспашке... к концу второго года освоения... Вымыто соответственно 81%, 69% и 56% солей от исходного содержания» (с.46) из слоя 0-60см. По темпам рассолонцевания и урожаями томатов получены близкие результаты: к концу второго года освоения содержание обменного натрия в слое 0-60 см по плантажной

вспашке снизилось на 63,4%, по трехъярусной – на 63,7%, на контроле – на 29,7%, а урожай, соответственно, составил в 1956 году – 0,612, 0,614 и 0,270 т/га, а в 1957 году – 0,670, 0,703 и 0,562 т/га.

Выводы, полученные Г.М. Авксентьевой (1969) на основании изучения комплексных почв Южного Заволжья, оказываются по существу близкими к выводам Б.А. Зимовца (1969), Б.А. Зимовца и Ю.А. Славного (1969). Подчеркивая заметное снижение запасов солей в комплексных почвах, орошаемых по крупным чекам, Г.М. Авксентьева отмечает, что особенно интенсивно выщелачиваются хлориды, а степень выщелачивания солей зависит от типа почв. В светло-каштановых почвах на 5-й год орошения в профиле сохранилось вдвое меньше солей, чем в профиле солонца, причем, особенно большая разница наблюдается в содержании хлоридов. Вследствие разницы во влажности светло-каштановых почв и солонцов автор допускает возможность латерального (горизонтального) передвижения почвенного раствора от первых (светло-каштановых) ко вторым (солонцам) и усиления контрастности комплексности.

Характеризуя динамику качественного состава солей, Г.М. Авксентьева констатирует уменьшение содержания сульфатов в нижних горизонтах светло-каштановой почвы и соответствующее увеличение их в солонцах, со случаями резкой вспышки щелочности, появления двууглекислой и даже нормальной соды при поливах.

Интересные результаты, полученные в опыте по химической мелиорации орошаемых по методу затопления крупными чеками солонцов Сарпинской низменности, сообщает М.Т. Процко (1969). Это, во-первых, особенно заметное смещение рН из щелочного интервала в нейтральный в вариантах с внесением суперфосфата, легкорастворимого кальциевого соединения, способного не только вступать в обменные реакции с почвой, но и оказывать воздействие на произрастающие культуры, которые, в свою очередь, могут служить фактором мелиоративного воздействия на почву, а также шлама – отход металлургической промышленности, состоящий в основном из кремнезема и оксидов железа с примесями гипса и серной кислоты, слабее – в варианте с гипсом. Во-вторых,

выщелачивание солей в большей мере проявляется в вариантах с внесением суперфосфата и гипса, в меньшей – в варианте с внесением шлама.

В-третьих, орошение наиболее сильно способствует выщелачиванию хлоридов, в меньшей степени – сульфатов и почти не воздействует на бикарбонаты, «что приводит к заметному преобладанию сульфатов над другими легко-растворимыми солями. Из катионов наибольшему изменению подвергается магний, в меньшей степени кальций и натрий» – (с.66) «Однако отмечено, что уменьшение кальция соответствует уменьшению общего количества солей, тогда как натрий проявляет большую стабильность в этом отношении, в результате относительное содержание кальция и натрия изменяется в сторону увеличения последнего. Особенно яркое выражение этого явления получило в варианте с гипсом».

В-четвертых, все мелиорирующие вещества способствовали уменьшению поглощенного натрия и увеличению поглощенного кальция. Наибольшие изменения в абсолютном содержании натрия отмечены в варианте с внесением суперфосфата, наименьшие – в варианте с внесением шлама.

Как известно, солонцы в отличие от других засоленных почв нуждаются одновременно в рассолении и рассолонцевании, однако без рассолонцевания или без механического удаления или разрушения солонцового горизонта, как уже отмечалось ранее (Б.А. Зимовец, 1969; Б.А. Зимовец, Ю.А. Славный, 1969), провести рассоление невозможно, так как фильтрационные свойства солонцов очень низкие по сравнению с другими почвами комплекса. Например, данные Н.Е. Варламова (1969) свидетельствуют, что за 34-36 дней промывки участка солонцы профильтровывают не более 5000 м³/га, в то время как светло-каштановые почвы за этот же период профильтровывают 7000 м³/га, а лугово-каштановые солонцовые – 12000 м³/га. Комментируя данные, Н.Е. Варламов отмечает: «При содержании в почвенном комплексе светло-каштановых почв 50% площади, солонцов 35%, а лугово-каштановых... – 15%, большая часть воды, поданная на промывку солонцов, профильтруется через светло-каштановые и лугово-каштановые почвы и вызовет лишь пополнение грунтовых вод» (с.95).

Соглашаясь с общим ходом рассуждений Н.Е. Варламова (1969), считаем необходимым подчеркнуть, что абсолютные объемы фильтрующей воды через профили почв солонцового комплекса следует рассматривать весьма условно: они представляются условно завышенными для солонцов и заниженными для светло-каштановых и лугово-каштановых почв. Для убедительности сошлемся на ряд авторов, изучивших фильтрационную способность почв солонцовых комплексов в Нижнем Поволжье (А.Ф. Гусиков, 1969; В.Г. Ларешин, 1971, 1984).

Например, по данным А.Ф. Гусикова, коэффициент фильтрации на корковом глинистом солонце составляет 0,0058 м/сутки, в то время как на светло-каштановой несолонцеватой тяжелосуглинистой почве – 0,39 м/сутки, а на лугово-каштановой почве – 1,44 м/сутки. Из этого ряда показателей следует, что водопроницаемость коркового солонца в несколько десятков раз ниже, чем водопроницаемость других компонентов солонцового комплекса.

Для глубокостолбчатых солонцов Сарпинской низменности В.Г. Ларешин приводит цифру 0,028 мм/мин. Более того, отмечается буквально следующее: «Резкое снижение фильтрации в солонцах, после набухания солонцового горизонта резко увеличивает продолжительность впитывания поданного объема воды и ведет к большим потерям вследствие испарения.... При гидрологических расчетах необходимо учитывать коэффициент фильтрации солонцов только до момента набухания солонцового горизонта (1-2 часа после подачи воды). После набухания солонцового горизонта, ввиду прекращения фильтрации площадь фильтрующей поверхности промываемого массива должна, вероятно, быть уменьшена на величину, равную площади солонцовых пятен в комплексе» (В.Г. Ларешин, 1971, с. 195-196).

Анализ научных данных по засолению почв и их опреснению позволяет отметить следующие положения.

1. Использование засоленных земель для нужд сельского хозяйства требует учета закономерностей генезиса и развития почв, которые определяются взаимодействием природных и антропогенных факторов.

2. Орошение сельскохозяйственных культур без учета мелиоративных условий, состава и свойств засоленных почв, ведет в аридных зонах ко вторичному засолению.

3. Для установления пределов минерализации оросительных вод, используемых для орошения сельскохозяйственных растений и прогнозирования вторичного засоления, необходимо учитывать присутствие в почве защитных катионов, предохраняющих ее от осолонцевания.

4. Влияние различных солей на развитие растений зависит от состава и концентрации почвенного раствора, токсичности катионов и анионов, а также от вида и сорта растения и их способности к адаптации к изменяющимся условиям среды.

ТЕМА 10

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Загрязнение почв в результате, как природных факторов, так и главным образом антропогенных источников не только изменяет ход почвообразовательных процессов, что приводит к снижению урожая, ослабляет самоочищение почв от вредных организмов, но и оказывает прямое или косвенное (через растения, растительные или животные продукты питания) влияние на здоровье человека.

Источником природного загрязнения является сама почва, ее минеральные и органические частицы. Опасным радиоактивным загрязнителем почв является радон – продукт распада распространенного радия. Наиболее богатые ураном кварцевые глины, граниты, пегматиты, пористые почвы обладают высоким потенциалом поступления в окружающую среду радона, а в меньшей степени – гнейсы, вулканические почвы, вулканические глины, песок. В присутствии радиоактивных элементов возникла и развивалась жизнь на Земле. Однако количество их и обусловленное ими облучение оставалось практически неизменным на протяжении геологических эпох, составляя дозу радиации для всего живого порядка 10^{-3} Гр в год. Такой радиоактивный фон является необходимым условием для нормального существования жизни на планете в современной форме. Повышенный его уровень связан с риском для организма животных и человека. В настоящее время в связи с антропогенным воздействием на природу повысился риск радиоактивного загрязнения.

К природным факторам загрязнения также относятся последствия экологического воздействия стихийных природных явлений: извержения вулканов и землетрясения, наводнения и засухи, ураганы, цунами и др. Сегодня в мире насчитывается 850 действующих вулканов, большинство из которых подводные. Только в Индонезии находится 128 активных вулканов. Вулканически опасными районами являются Япония и Центральная Америка. Кроме непосредствен-

ного воздействия извергающихся вулканов, весьма ощутимы и косвенные последствия – разрушение зданий, инженерных сооружений, голод, падеж скота, выпадение кислотных дождей, отравляющих растительность, посевы и почву. Следует указать и на химический состав вулканических выбросов, среди которых ПАУ, мышьяк, радон, хлористый водород, двуокись углерода и др.

Особенно катастрофического масштаба в памяти человечества оставили землетрясения. Считается, что больше всего жертв (примерно 1,1 млн человек) принесло землетрясение 1201 года, случившееся у восточного побережья Средиземного моря и вызвавшего гибель всех крупных городов Ближнего Востока.

В результате затяжных дождей, ливней и из-за таяния снега возникают наводнения, которые наносят огромный ущерб и большое количество жертв. Наводнения были не редким событием в Китае (разливы рек Хуанхэ и Янцзы), Индии (разливы Ганга), Месопотамии (Тигр и Евфрат), США (Миссисипи).

Большой урон наносят и другие стихийные явления. Засухи приводят к опустыниванию и изменению ландшафтов. Все стихийные явления приводят к загрязнению значительных территорий. Многие природные бедствия сопутствуют друг друга, вызывая более выраженные экологические последствия.

Антропогенное воздействие на природную среду приводит к развитию процессов техногенеза. В ряде регионов мира содержание радиоактивных и токсических химических веществ значительно превышает безопасные пределы. Основными источниками загрязнения почв являются промышленность, транспорт, энергетика, сельское и лесное хозяйство, города и населенные пункты. При этом загрязнителями служат отходы и отбросы промышленности и другой деятельности, хозяйственный городской мусор, химические вещества, используемые в сельском хозяйстве, сточные воды, выбросы в атмосферу и др.

Процесс переноса загрязнителей осуществляется в результате геологического и биологического круговорота веществ в природе. Вещество литосферы мигрирует в виде растворов, а также в виде геохимических пассивных твердых продуктов денудации – обломочного материала, перемещающегося под действием силы тяжести (осыпи, оползни), с текущей водой (влекомые и взвешенные

наносы, их особенно много в горных реках), в виде селей-грязекаменных потоков, с воздушными потоками – в виде пыли.

Количество твердого стока с водными потоками, или смыв, зависит от интенсивности поверхностного потока и от наличия растительности. Со стоком влекомых и взвешенных наносов суша ежегодно теряет около 23 млрд т. вещества или при плотности наносов около $2,5 \text{ г/см}^3$ это эквивалентно смыву 0,06 мм горных пород суши.

Во многих районах значителен перенос твердого материала-пыли воздушными потоками (дефляция), интенсивность которого зависит от скорости воздушных масс, длительности ветров и, что очень важно, от защищенности поверхности растительным покровом. В засушливых зонах одной из причин засоления земель является принос солей ветром (импульверизация солей), которая может достигать $20\text{--}30 \text{ т/км}^2$ в год. Воздушные массы интенсивно распространяют на большие территории загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу промышленными объектами. Одно из следствий этого - кислотные дожди, т.е. появление в дождевых водах серной и соляной кислот. При наводнениях нарушается состав почвы, происходит смыв плодородных земель, образуются мощные наносы ила, погибает урожай.

Геохимический круговорот растворенных в воде веществ тесно связан с влагооборотом. Масса растворенных веществ, выносимых мировым речным стоком при его объеме 39 тыс. км³ и минерализации около 0,1г/л (надо иметь в виду, что воды крупнейших рек Амазонки, Конго, Ганга, Янцзы, Енисея очень пресные), примерно равна 4,7 млрд т или 31 тонне с одного км² в год, что при средней плотности растворимых горных пород около $2,5 \text{ т/м}^3$ дает годовой вымыв (химическая денудация) 0,012 мм.

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

Из-за более высокой минерализации подземных вод круговорот растворенных веществ в них также значителен. В подземных водах растворено очень много веществ, которые в повышенном количестве опасны для биоты.

При загрязнении почв продуктами из атмосферы большое значение имеет расстояние почв от первичного источника загрязнения. По мере удаления от него интенсивность загрязнения почв уменьшается, но при этом увеличивается площадь, подвергающаяся загрязнению. Загрязнители почв, переносимые воздухом – результат не только деятельности человека, но и природных факторов.

В группу основных загрязнителей почвы, переносимых воздухом входят твердые минеральные частицы, а также различные химические соединения в форме сульфатов, фосфатов, карбонатов и т. д. Во вторую группу загрязнителей включены газообразные соединения типы окислов серы, азота, углерода и углеводородов. В третью группу входят элементы, из которых следует выделить серебро, мышьяк, свинец, бериллий, бром, кадмий, хром, медь, фтор, ртуть, никель, свинец, цинк и т. д.

Важную роль в загрязнении почв играют осадки. Степень насыщения ими зависит от объема осадков и от места их нахождения. Например, в почвы центральной части США таким образом поступает ежегодно 2000-3400 мг/м² кальция. Необходимо отметить, что осадки не только собирают из атмосферы загрязнители и переносят их в почву, но и промывают ее, способствуя транспортировке загрязнителей к водоемам, т.е. загрязнению почв на глубине.

Другими загрязнителями почв, переносимых воздухом, служат частицы мраморной, глинистой, металлической, цементной, угольной пыли. Проникающая в почву пыль аккумулируется. Степень воздействия ее на почвы зависит как от физико-химических свойств, так и от климатических условий, особенно осадков.

Индустриализация и производство энергии создают большую проблему в некоторых зонах мира – образование кислотных дождей. Кислотные осадки сделали уже безжизненными тысячи озер, вызывают гибель лесов, парниковые

эффекты, чреватые небывалыми засухами и истончение озонового слоя, угрожают всему живому на планете. Кислотными называют дожди pH, которых ниже 5,6. Их источник в атмосфере – микрогазы, содержащие соединения серы и азота. Эти соединения могут попадать в атмосферу, как в результате естественных природных процессов, так и деятельности человека. В Европе выделение серы в воздух, происходящее в результате деятельности человека, составляет приблизительно 80% от всех загрязнителей в атмосфере. В северо-восточной зоне США появление таких дождей вызвано на 60-70% серной кислотой и на 30-40% азотной кислотой.

В результате деятельности человека в атмосферу поступает 60-70 млн тонн двуокиси серы, т. е. в два раза больше, чем это происходит естественным путем. Почти 40% из 56 млн тонн ежегодных выбросов оксидов азота образуются из антропогенных источников. Главные из них: сжигание ископаемого топлива (угля, нефти, газа) – 12 млн тонн в год, и транспорт – от двигателей внутреннего сгорания поступает в атмосферу 8 млн тонн. С различными видами промышленности выбрасывается в воздух около 1 млн тонн оксидов азота. В целом количество естественных и искусственных выбросов соединений, принимающих участие в образовании кислотных дождей, приблизительно одинаково, однако антропогенные выбросы двуокиси серы и оксидов азота сосредоточены на ограниченных территориях с развитой промышленностью и, таким образом, именно в этих местах создаются высокие концентрации кислотных микроэлементов в атмосфере.

Выпадение кислотных дождей связано как с близостью источников загрязнения, так и с природой и особенностями материалов, подверженных их воздействию. Кислотные осадки приводят к закислению почвы, выщелачиванию кальция, магния и калия и повышению мобильности тяжелых металлов. Соотношение алюминий/кальций в почвенных водах в случае выпадения кислотных осадков настолько возрастает, что тормозится рост корневой системы растений, а сам алюминий оказывает токсическое действие на почвенные микроорганизмы. Изменение состава микроорганизмов явно влияет на процессы

разложения, минерализации и связывания азота. Воздействие кислотных дождей на почву выражается в вымывании из нее питательных элементов. Подкисление, в свою очередь, влияет на растворимость питательных веществ, а также на рост и жизнедеятельность бактерий в почве. Способность нейтрализовать такие дожди ограничена в зонах, где геологическое строение способствует формированию кислых почв с водами низкой щелочности и бедных кальцием. Особенно чувствительны к кислым дождям почвы, сформированные на кислых породах.

Все возрастающее внимание к охране окружающей среды вызвало особый интерес к вопросам воздействия на почву тяжелых металлов. Интерес к этой проблеме появился в результате исследований плодородия почв, поскольку эти элементы, как железо, марганец, медь, цинк, молибден и, возможно, кобальт очень важные для жизни растений и, следовательно, для животных и человека. Они известны и под названием микроэлементов потому, что необходимы растениям в малых количествах. К этой группе микроэлементов относятся также металлы, содержание которых в почве довольно высоко, например железо, которое входит в состав большинства почв и занимает четвертое место в составе земной коры после кислорода, кремния и алюминия. Все микроэлементы могут оказывать отрицательное влияние на растения, если концентрация их доступных форм превышает определенные пределы. До тех пор пока тяжелые металлы прочно связаны с составными частями почвы они труднодоступны, их отрицательное влияние на почву и окружающую среду будет незначительным. Однако, если почвенные условия позволяют перейти тяжелым металлам в почвенный раствор, появляется прямая опасность загрязнения почв, возникает вероятность проникновения их в растения, а также в организм человека и животных, потребляющих эти растения. Кроме того, тяжелые металлы могут быть загрязнителями растений и водоемов в результате использования или сточных вод. Опасность загрязнения почв и растений зависит от вида; форм химических соединений в почве; присутствие элементов, противодействующих влиянию тяжелых металлов и веществ, образующих с ними комплексные соединения; от

процессов адсорбции и десорбции; количества доступных форм этих металлов в почве и почвенно-климатических условий. Следовательно, отрицательное влияние тяжелых металлов зависит от их подвижности, т.е. растворимости.

Тяжелые металлы по степени токсического действия на окружающую среду подразделяются на три класса опасности:

1. As, Cd, Hg, Pb, Se, Zn, Ti;
2. Co, Ni, Mo, Cu, So, Cr;
3. Ba, V, W, Mn, Sr.

Содержание металлов в почве связано с биологическим круговоротом элементов, с процессами миграции в почвенно-грунтовой среде и с неоднородностью видового состава растительного покрова.

Приводим характеристику некоторых типичных тяжелых металлов в почве.

Ртуть. Содержание ртути в почвах фоновых территорий изменяется в широких пределах – от $n \cdot 10^{-7}$ до $n \cdot 10^{-4}$ %. При этом уровень содержания ртути в почвах, как правило, выше, чем в почвообразующих породах в 1,5-15 раз. Содержание ртути в черноземах России составляет 0,10-0,40 мг/кг, в сероземах Южного Казахстана – 0,05- 0,10 мг/кг, в верхних горизонтах почв на морене США – 0,07 мг/кг, а на гранитах и гнейсах – 0,06 мг/кг, пылеватых почв прерий – 0,04 мг/кг, лессовых почв – 0,08 мг/кг.

Свинец. Среднее содержание свинца в почвах $-1,0 \cdot 10^{-3}$ % . В почвах Русской равнины фоновое содержание элемента от 2,6 до 43 мг/кг. Почвы Западной части США имеют среднюю концентрацию 14 мг/кг, Восточной – 18 мг/кг, в ферраллитных красных почвах – 4,4-7,4 ррт, коричневых – 9,5-28 ррт. Верхние горизонты черноземных почв Канады содержат 6-12 мг/кг, почвы дельты Нила – 51,4 мг/кг свинца.

Цинк. Среднее содержание цинка в почвах составляет $n \cdot 10^{-3}$. Почвообразующие породы в зависимости от их гранулометрического состава в среднем содержат от 30,6 до 71,7 мг/кг. Наибольшие средние величины содержания

цинка характерны для аллювиальных почв и солончаков, а наименьшие – для светлых минеральных почв. Относительно высокое среднее содержание цинка отмечено в известковых почвах Южного Китая (236 мг/кг) при диапазоне колебаний 54-570 мг/кг. Высоким содержанием цинка отличаются торфяно-глеевые, торфянисто-глеевые почвы на морских глинах – до 100 мг/кг. Достаточно высокое содержание цинка – 60-109 мг/кг характерно для бурых лесных почв. Суглинистые почвы значительно богаче цинком, чем песчаные и супесчаные.

Медь. Общее содержание меди в почвах – 0,002%. Среднее фоновое содержание меди колеблется в пределах 6-100 мг/кг, достигая максимума в ферраллитных почвах и минимума – в песчаных. К факторам, оказывающим влияние на увеличение содержания меди в почве относятся: высокое содержание минералов тяжелой фракции и глинистых минералов, тяжелый гранулометрический состав, богатство коллоидами, наличие органического вещества. Так, песчаные почвы и подзолы Австралии содержат от 22 до 52 мг/кг меди, бурые и каштановые почвы Австралии – 83-140 мг/кг, черноземы Болгарии – 26-38 мг/кг. В бурых лесных почвах Черноморского побережья России валовое содержание меди колеблется в пределах 21-61 мг/кг.

Кадмий. Средняя концентрация кадмия в почвах около $n \cdot 10^{-5} \%$. Содержание кадмия в почвообразующих породах составляет в среднем 0,19 мг/кг в основных породах, 0,10 и 0,30 мг/кг – соответственно в кислых и осадочных породах. Фоновое содержание кадмия в почве в значительной мере определяется ее типом: в подзолистых и дерново-подзолистых почвах оно составляет 0,70-2,3 мг/кг, серых лесных – 0,65 мг/кг, черноземах – 0,70-1,00 мг/кг, красноземах – 1,25 мг/кг.

Никель. Среднее содержание в почвах – $4 \cdot 10^{-3} \%$. Для никеля характерны широкие пределы колебаний его содержания в почвах мира – от 1 до 100 мг/кг, при среднем его содержании 20 мг/кг; для почв США – 19 мг/кг для наиболее распространенных почв Китая, подстилаемых известняками, – 92 мг/кг (пределы колебаний 2- 450 мг/кг).

Самые высокие содержания никеля наблюдаются в глинистых и суглинистых почвах, в почвах на основных и вулканических породах и в почвах, богатых органическим веществом. Наиболее высокими уровнями содержания отличаются торфянистые почвы, в которых никель присутствует в виде легкорастворимых органических комплексов.

Стронций. Среднее содержание стронция в почвах – $n \cdot 10^{-2}$ – $n \cdot 10^{-1}$ %, в суглинистых и глинистых почвах колеблется от 280 до 310 мг/кг, в каштановых – около 280 мг/кг, в черноземах – от 520 до 3500 мг/кг, в луговых почвах – около 300 мг/кг. Поверхностный слой легких супесчаных почв США содержит от 10 до 500 мг/кг, глинистых и суглинистых – от 15 до 300 мг/кг, аллювиальных от 50 до 700 мг/кг, почв на известняках и известковых породах – от 15 до 1000 мг/кг.

Хром. Относится к элементам, с повсеместным распространением, его содержание в земной коре составляет $8,3 \cdot 10^{-3}$ %. Установлено увеличение уровня содержания хрома в донных осадках за счет техногенных источников.

Мышьяк. В земной коре (кроме геохимических зон) он составляет $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ %. Соединения мышьяка находят широкое применение в сельском и лесном хозяйстве (пестициды и гербициды).

Анализ данных свидетельствует, что фоновое содержание химических элементов даже в пределах одного почвенного типа обладает высокой природной вариабельностью, обусловленной прежде всего геохимическими и географическими особенностями регионов их формирования. Основными механизмами поступления металлов из атмосферы на поверхность почвы являются осаждение с атмосферными осадками и сухие выпадения.

Следует отметить, что доступность тяжелых металлов растениям – непостоянна. Она варьируется от одного вида растений к другому, зависит от почвенно-климатических условий. У каждого вида растения концентрация тяже-

лых металлов может варьироваться в различных частях и органах, а также в зависимости от возраста растения.

К почвенным факторам, значительно влияющим на доступность тяжелых металлов, относятся: гранулометрический состав, реакция (pH) почвы, содержание органического вещества, катионнообменная способность и дренаж.

Гранулометрический состав почвы оказывает прямое влияние на закрепление тяжелых металлов и их высвобождение, в связи, с чем в более тяжелых почвах меньшая опасность возможной адсорбции растениями избыточного (токсичного) количества тяжелых металлов.

Реакция (pH) почвы. Для того чтобы, какой либо металл был адсорбирован корневой системой растения, он должен находиться в растворимой форме. Гидроокиси и карбонаты тяжелых металлов слаборастворимы, и с повышением pH почвенного раствора возрастает вероятность образования нерастворимых гидроокисей и карбонатов. Существует единое мнение, что для снижения до минимума доступности токсичного металла в почве необходимо поддерживать величину pH около 6,5.

Содержание органического вещества. Металлы могут образовывать сложные и комплексные соединения с органическим веществом почвы, и поэтому в почвах с высоким содержанием гумуса они менее доступны для поглощения растениями.

Обменная емкость катионов зависит в основном от содержания и минералогического состава глинистой фракции и содержания органического вещества в почве. Чем выше обменная емкость катионов, тем больше удерживающая способность почв (в определенных пределах) тяжелых металлов, что исключает их попадание в токсичных концентрациях в растения.

Дренаж почвы. Избыток воды в почве благоприятствует появлению в ней металлов с низкой валентностью в более растворимой форме. Внесение в почву большого количества ила сточных вод может на длительное время создать анаэробные условия, и, увеличить доступность тяжелых металлов. Для поддержания минимальной растворимости тяжелых металлов ил вносится в

почву и сразу же заделывается. С этой же целью рекомендуется проведение глубокого рыхления и культивацию слабодренированных почв.

Миграция тяжелых металлов в почвах может происходить с жидкостью и суспензией, при помощи корней растений или почвенных микроорганизмов. Миграция растворимых соединений происходит вместе с почвенным раствором или путем перемещения самой жидкости. Вымывание глин и органического вещества приводит к миграции всех связанных с ними металлов. Тяжелые металлы могут быть внесены или адсорбированы микроорганизмами, которые, в свою очередь, способны участвовать в миграции соответствующих металлов.

Дождевые черви и другие организмы могут содействовать миграции тяжелых металлов механическим (биологическим) путем, перемешивая почву или включая металлы в свои ткани. Самая важная миграция в жидкой фазе, потому что большинство металлов попадает в почву в растворимом виде или в виде водной суспензии и фактически все взаимодействия между тяжелыми металлами и жидкими составными частями почвы происходят на границе жидкой и твердой фаз.

В почвах токсичные уровни загрязняющих веществ медленно накапливаются, но зато долго в ней сохраняются, негативно влияя на экологическую обстановку целых регионов. Почвы, загрязненные тяжелыми металлами и радионуклидами, очистить практически невозможно. Пока известен единственный путь – засеять такие почвы быстрорастущими культурами, дающими большую зеленую массу; такие культуры извлекают из почвы токсичные элементы, а затем собранный урожай подлежит уничтожению. Но это довольно длительная и дорогостоящая процедура. Можно снизить подвижность токсичных соединений и поступление их в растения, если повысить рН почв известкованием или добавлять большие дозы органических веществ, например торфа. Неплохой эффект может дать глубокая вспашка, когда верхний загрязненный слой почвы при вспашке опускают на глубину 50-70 см, а глубокие слои почвы поднимают на поверхность. Для этого можно воспользоваться специальными многоярусными плугами, но при этом глубокие слои все равно остаются загрязненными.

Наконец, на загрязненных тяжелыми металлами (но не радионуклидами) почвах можно выращивать культуры, не используемые в качестве продовольствия или кормов, например цветы.

Загрязнение почв пестицидами. Пестициды представляют большую опасность для человека и животных, полезных насекомых и микроорганизмов. Особое место занимают устойчивые, трудноразлагаемые пестициды, особенно хлорорганические, 97 % которых теряется, т.е. достигают почвы, растений и других организмов экосистемы.

Попавшие в почву пестициды не только воздействуют на вредителей и сорняки, оказывают влияние на микроорганизмы, вызывая изменения их численности и состава, а следовательно, интенсивности и направленности физиологических процессов. Степень этих изменений зависит от многих факторов, среди которых решающую роль играют природа и доза действующего вещества, свойства почв и климатические условия.

Любое вещество или смесь веществ, обнаруженных в почве после применения пестицида, относят к остаточным количествам. Устойчивость к разложению пестицида в почве зависит от содержания органического вещества и глинистых минералов, свойств почвы, ее pH, почвенной микрофлоры и микрофауны, водно-воздушного режима, температуры, обменной катионной способности, степени окультуривания, интенсивности ветра и освещения, количества осадков и т. д. Самым важным фактором является химическая природа пестицида.

В почвах загрязненных пестицидами происходит процесс накопления остаточных количеств организмами беспозвоночных и насыщения ими растений. Интенсивность поглощения остаточных количеств пестицидов различна и зависит от вида возделываемых культур. Пестициды легко поглощаются растениями из песчаных почв и с трудом – из торфяных почв, содержащих большое количество органического вещества.

Очистка почв от остаточных количеств пестицидов происходит очень медленно. Она зависит от различных мероприятий по обработке почвы и кли-

матических факторов. Более быстрые способы очистки основаны на внесении в почву специальных веществ, поглощающих или разлагающих пестициды.

Загрязнение почв минеральными удобрениями. В минеральных удобрениях тяжелые металлы являются естественными примесями, содержащимися в агглюмератах, поэтому их количество зависит от исходного сырья и технологии его переработки. Чаще всего повышенное содержание примесей тяжелых металлов наблюдается в фосфорных удобрениях, а также в удобрениях, полученных с помощью экстракционной фосфорной кислоты (аммофосы, аммофоски, нитрофосы, нитрофоски, двойные суперфосфаты). Фосфорные удобрения могут стать источником загрязнения почв такими радиоактивными элементами, как уран, торий и радий. Известно, что в некоторых штатах США концентрация ^{238}U в почвах за 80 лет применения фосфорных удобрений увеличилась в 2 раза. Количество цинка и свинца, поступающих с минеральными удобрениями, в среднем невелико и не превышает выноса этих металлов растениями.

Влияние загрязнения на урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции. Нарушения, происходящие в растительных организмах под действием избытка тяжелых металлов, приводят к изменению урожайности и качества растениеводческой продукции (в первую очередь за счет увеличения содержания самих металлов).

Проведение мероприятий по санации загрязненных тяжелыми металлами почв само по себе не может гарантировать получение высоких урожаев экологически безопасной сельскохозяйственной продукции. Подвижность тяжелых металлов и доступность их для растений в значительной степени контролируются такими свойствами почв как кислотно-щелочные условия, окислительно-восстановительные режимы, содержание гумуса, гранулометрический состав и связанная с ними емкость поглощения. Поэтому прежде чем переходить к разработке конкретных мероприятий по восстановлению плодородия загрязненных почв, необходимо определить критерии их классификации по опасности загрязнения (ТМ), базирующиеся на совокупности физико-химических свойств.

При высоких уровнях загрязнения почв ТМ урожайность сельскохозяйственных культур резко падает. Содержание в почве свинца в концентрации 500-2500 мг/кг приводит к снижению урожайности редиса на 50, салата до 68, а репчатого лука до 78%. Меньше всего свинца накапливают бобовые – до 0,5 мг/кг сухого вещества, больше всего - в листьях репы и кабачках – до 16,2 и 22,4 мг/кг, соответственно. Вместе с тем, следует отметить, что поскольку неорганические соединения свинца в почве образуют нерастворимые соли, то они обычно через корневую систему в наземные растения не попадают.

Так, D. Sauerbttck (1982), обобщая данные исследований, проведенных в Западной Европе, показал, что снижения урожая различных сельскохозяйственных культур в зависимости от количества кадмия в почве варьируется от 5 до 50%. Увеличение содержания Cd до 50 мг/кг в дерново-подзолистой средне-окультуренной почве привело к снижению биомассы клевера от 10,2 т/га (на контроле) до 1,0 т/га, падение урожая зерна ячменя при этом составило 2,94 т/га (от 3,16 до 0,22 т/га).

Изучение динамики урожайности зерновых и бобовых культур при загрязнении тяжелыми металлами позволило установить, что ячмень и овес более устойчивы к действию Pb, Cd, Zn и Cu, чем вика, люпин и клевер. Так, статистически значимое падение урожая соломы овса на дерново-подзолистой средне-окультуренной почве происходило при дозе Cd 50 мг/кг, а вики и люпина – 20 мг/кг; при содержании Cd 100 мг/кг бобовые культуры погибали. Аналогичные изменения наблюдались в вариантах с Zn и Pb. При этом необходимо подчеркнуть, что на почвах с высоким уровнем плодородия растения подвержены негативному действию ТМ в меньшей степени, чем на малоплодородных почвах. (Черных, Милащенко, Ладонин, 1999).

Значительный интерес с точки зрения величины урожая и его качества представляют данные по изучению влияния ТМ на формирование репродуктивных органов растений. В условиях вегетационных и микрополевых опытов на примере ячменя проведены исследования изменения таких показателей, как число колосьев на сосуд, длина колоса, количество зерен в колосе, масса 1000

зерен и др. Под действием высоких концентраций цинка и свинца происходит уменьшение как количества зерен в колосе, так и массы каждого зерна. Действие кадмия на формирование колоса было иным: уменьшение количества зерен в колосе сопровождалось увеличением массы каждого зерна.

Обобщение имеющихся в настоящее время материалов по изучению влияния ТМ на растения свидетельствует о том, что степень угнетения растений в значительной степени зависит от индивидуальных особенностей отдельных культур. Устойчивость растений к одному металлу, как правило, не адекватна для других. Данное свойство может быть использовано при выведении новых сортов растений, способных давать урожаи незагрязненной продукции на почвах с высоким уровнем содержания тяжелых металлов. (Черных, Милащенко, Ладонин, 1999).

При значительном загрязнении почвы радионуклидами рекомендуется возделывать технические культуры (сахарную свеклу, картофель на крахмал), т.к. современные технологии переработки позволяют получить радиационно безопасную продукцию.

ТЕМА 11

ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЕ И ЗАБОЛАЧИВАНИЕ ПОЧВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Почва в гидрологическом круговороте – это приемник, хранилище и регулятор влаги, являющийся буфером при периодическом избытке и недостатке гидрологического баланса территории. Почва может выступать в качестве регулятора некоторых элементов гидрологического баланса, что имеет важное значение для увеличения эффективности использования водных ресурсов и возрастания продукции биомассы, интенсификации превращения солнечной энергии в биоэнергию, в продовольственную энергию.

Способность почв удерживать доступную растениям воду зависит от определенных ее свойств. Такой показатель может быть рассчитан, например, по объему почвы, доступной для корневой системы растений. Любое добавочное количество воды в виде осадков или от других источников, превышающее эту величину, является избыточным и может нарушить гидрологический баланс почвы. В зависимости от водопроницаемости почв, рельефа, литологии и гидрографии избыток воды может инфильтроваться в грунтовые воды, перейти в поверхностные воды или вызвать переувлажнение местности, что отразится на природном ландшафте, окружающей среде, на экономической деятельности, а также на плодородии почв, т.е. выступить как фактор загрязнения почв.

Избыток воды в почвах в течение длительного периода создает условия для тех химических и биологических процессов, которые в анаэробных условиях приводит к явлениям оглеения (под влиянием избытка грунтовых вод) и псевдооглеения (под влиянием избытка атмосферной воды). При этом, помимо отсутствия кислорода, в почве обнаруживается ряд токсических соединений, что затрудняет жизнь микроорганизмов и питание растений, вследствие чего происходит частичная или полная потеря урожая.

Считается, что 8% суши подвержены заболачиванию и затоплению. Гидроморфные почвы формируются во всех тропических зонах при одном обязательном условии – избытке влаги. Избыток воды в почве замедляет процессы разложения органических остатков. Поэтому в переувлажненной почве мало минеральных солей, необходимых для питания растений, корни растений задыхаются от недостатка воздуха, отмирают, что ведет к гибели растений или сильному ослаблению их роста. В переувлажненной почве при отсутствии кислорода происходят процессы брожения, дающие кроме углекислоты, ядовитые вещества, которые отравляют корни растений. Избыток воды разрушает структуру почвы, что создает менее благоприятный для растений водно-воздушный и питательный режимы в почве.

Влажность почвы является избыточной не столько по количеству воды в почве, сколько по торможению ею аэробнозиса. Обычно избыточная влажность почвы является следствием ее бесструктурности при определенных гидрологических условиях (значительные атмосферные осадки, невысокое испарение, слабый сток, приток подземных вод, разлив рек и т.д.) и всегда связана с недостатком минеральной пищи для растений. Переувлажнение земель происходит при значительном количестве атмосферных осадков и невысокой испаряемости. В тропических странах переувлажненными являются преимущественно поймы, пониженные места и маршевые почвы, прилегающие к водным объектам, в том числе морям и океанам.

Основное отличие гидроморфных почв тропиков сводится к почти полному отсутствию торфянистости (характерной для умеренно теплой зоны). Это обусловлено преобладанием процесса минерализации органических остатков в сухом сезоне и разложением под влиянием гниения во влажном периоде. Эти факторы способствуют образованию слаботорфянисто-гумусового горизонта от 10 до 40 см.

Избыточно увлажненные почвы можно разделить на три группы: болота, заболоченные земли и переувлажненные минеральные почвы. Болотом называют ту часть земной поверхности, на которой избыточное увлажнение при не-

достатке воздуха привело к развитию характерной для торфообразования влаголюбивой растительности и к процессу накопления полуразложившегося органического вещества – торфа, мощностью не менее 30 см в неосушенном состоянии. Заболоченные земли представляют собой начальную стадию образования болот при мощности торфа менее 30 см.

На всем земном шаре насчитывается около 350 млн га болот и заболоченных земель. Ежегодно в болотах земного шара нарастает около 4 млрд тонн торфа естественной влажности, который является ценной почвой для возделывания сельскохозяйственных культур (торф низинных болот) и продуктом природы, используемым для топлива и как подстилка для животноводческих ферм (торф верховой). Значительные площади болот и заболоченных земель расположены в странах тропического пояса (Индонезия, Малайзия, Филиппины, Пакистан, Кот-д Ивуар, Гвинея, Марокко, Нигерия, и др.) Болота и заболоченные земли образуются здесь главным образом в поймах рек и озер, в приморских низменностях и других депрессиях рельефа.

Почвы, не имеющие на поверхности торфяного слоя, но на которых отмечается избыток влаги от атмосферных осадков, грунтовых и талых вод в течение продолжительного периода, называют избыточно увлажненными минеральными землями. Они представлены в основном бесструктурным различного гранулометрического состава почвами. Песчаные переувлажненные минеральные почвы преобладают среди дюнных ландшафтов. Обычно мало плодородны в естественном своем состоянии; имеют мощность от 0,5 до 10 м и больше. Избыточное увлажнение происходит в результате наличия непроницаемых прослоек в виде ортштейна или оглеения при пологом рельефе со слабыми уклонами или подтопления (т.е. повышения уровня грунтовых вод, вызываемого соответствующим подъемом горизонта водоупорника). Глинистые или суглинистые переувлажненные почвы встречаются, например, на моренных ландшафтах и делювиальных отложениях. Обычно уровень грунтовых вод располагается ниже 3-5 м от дневной поверхности. Лишь весной и при муссонных осадках появляется верховодка. В основном избыточное увлажнение таких типов почв

происходит в результате застоя атмосферных вод. Суглинистые или глинистые переувлажненные почвы иногда встречаются на склонах и местных водоразделах. Мощность грунтов – от 1 до 10 м и более. Под такими слоями располагается напорный грунтовый поток, питающий в основном эти земли.

Главной причиной переувлажнения тяжелых слабоводопроницаемых почв является застой воды на поверхности в следствие превышения атмосферных осадков над суммарным испарением. Переувлажнение зависит от глубины залегания слабопроницаемых для влаги горизонтов или слоев, которые могут быть обусловлены: лессиважом (вымыванием илистых и глинистых частиц с верхних горизонтов атмосферными осадками в дождливый период), наличием латеритных слоев или пятнисто-глинистых толщ. Как правило, избыточное увлажнение наблюдается при большом количестве осадков из-за недостатка кислорода для питания растений и ухудшения водного, воздушного и теплового режимов почв.

К другим причинам переувлажнения можно отнести близкое залегание уровня грунтовых вод или их выход на поверхность, затопление в период разлива рек или в периоды ливневых осадков, а также дождевая вода, которая быстро переполняет верхний слой почвы. При движении влаги вниз по склону, постепенно формируются супеси на верхней части склона, суглинков на средней и делювиальные агрегатные глины на нижней – разновидности с резко понижающейся водопроницаемостью. Замедление движения повышает уровень почвенных вод; уже со второй трети склона этот уровень становится постоянным и в нижней трети приближается к дневной поверхности, вместе с тем растет и увлажнение почвы. Благодаря притоку воды в депрессии рельефа с вышележащих водоразделов происходит переувлажнение почв.

Переувлажнение почв происходит также вследствие затопления пониженных частей долины реки паводковой водой. Чаще всего переувлажнение отмечается в притеррасной пойме. Здесь, кроме атмосферных осадков, вливаются делювиальные воды с коренного берега и притеррасных дюн и грунтовые воды из-под коренного берега. Обилие воды образует обычно притеррасную

речку, питаемую, кроме того, ключами. Вместе с водой на притеррасную пойму вносится много минеральных солей, и избыток их откладывается в форме лугового известняка, охры и вивианита.

Разновидностью пойм являются плавни – переувлажненные поймы с весьма малым уклоном, лежащие иногда ниже меженного уровня реки и потому заливаемые на длительный период. В области дельт их грунтовые воды подперты уровнем моря или прибрежными дюнами.

Выходы грунтовых вод переувлажняют почву и вне поймы. Грунтовые воды выходят в виде: а) ключей, б) широкого и длинного слоя поперек склона, иногда на протяжении целых километров и в) слоя по дну котловины.

Ключи бьют из-под крутых склонов, давая сильно минерализованную воду. У выхода ключей вначале пышно развиваются травы и деревья, остатки которых вследствие обилия воды и недостатка воздуха в почве минерализуются не сполна и образуют торфяные отложения небольшой площади.

При выклинивании широкого слоя грунтовых вод повторяется, в сущности, процесс развития ключевых болот, но на более пологих склонах, на большей площади, с меньшим дебитом воды на единицу площади, с более быстрой сменой растительных сообществ, с замедленным нарастанием торфяного слоя. Иногда дно котловины соприкасается с зеркалом грунтовых вод и, увлажняясь, постепенно превращается в болото, небольшой площади (1-5 га). Процесс переувлажнения и возникновения болота при зарастании водоема обусловлен тем, что водоем постепенно мелеет вследствие осаждения сапропеля, т.е. массы остатков отмершей флоры и фауны водоема и веществ, принесенных в водоем водой (наносы, соли) и ветром (пыль, мусор). Органические вещества в сапропеле вследствие анаэробного разложения не распадаются и образуют торф. Когда слой сапропеля достигает определенной толщины, на нем, начиная от берегов, поселяются земноводные растения. Отмершие растения частью попадают на дно, частью остаются на поверхности воды, образуют пловучий ковер, постепенно утолщающийся, уплотняющийся, нарастающий к центру водоема. Пространство, занятое водой, постепенно уменьшается по площади и по глубине и, наконец,

целиком заполняется донными отложениями и сомкнувшимся ковром. На поверхности образуется органическая подушка торфа, приподнятая в середине и расползающаяся по периферии, причем превышение центра подушки над ее краем может достигнуть 6 м. Нарастание подушки идет со скоростью 1-3 см в год и даже больше. Образовавшееся болото в дальнейшем развивается, переходя из одной категории в другую.

Болота влияют на климат прилегающей территории. Их поверхность испаряет больше воды, чем свободная водная поверхность. По Л.С. Бергу, это превышение достигает 10-30%. На испарение расходуется значительное количество тепла, территория в большей степени охлаждается. Стекающие с болот воды богаты органическими веществами, попадая в водоемы, они ухудшают их кислородный режим и создают неблагоприятные условия для развития жизни. При этом может пострадать рыбное население. Болото, образовавшееся на месте озера, содержит в своей толще больше воды, нежели ее содержалось в озере до его зарастания.

В зоне влажных субтропиков условия для образования болот становятся более благоприятными. В некоторых случаях здесь образуются обширные заболоченные территории. При нерациональном ведении хозяйства может возникнуть заболачивание (например, при бессистемной вырубке лесов, при низкой агротехнике на полях, ведущей к образованию плужной подошвы). Избыточное увлажнение почвы ведет к уменьшению аэрации и к развитию восстановительных процессов. Одновременно в почве накапливается органическое вещество, которое также оказывает восстановительное действие на окисленные соединения почвы.

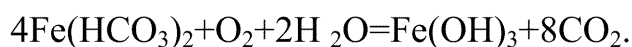
Полнота разложения органического вещества определяется условиями аэрации: при интенсивном доступе воздуха оно полностью минерализуется. Уменьшение аэрации и сочетание аэробного и анаэробного процессов ведет к гумификации органических остатков. Часть органического вещества разлагается полностью, часть – накапливается в виде промежуточных продуктов распада. Одновременно происходит и синтез более сложных органических соединений;

за счет этих продуктов образуется комплекс веществ, которые называются гумусовыми.

Еще большее ухудшение аэрации ведет к преобладанию анаэробных процессов, к замедлению гумификации и к накоплению полуразложившихся и неразложившихся остатков растительности. Образуется специфическая органическая порода – торф. Наконец, в случае полного отсутствия кислорода происходит гниение органического материала. Продуктами гниения являются восстановленные соединения: метан, сероводород.

Накопление органических веществ и недостаток кислорода способствуют развитию восстановительных процессов и образованию глея и глеевых горизонтов, характерных для болот и болотных почв. Происходит восстановление окисных соединений железа в закисные.

Если периоды недостатка кислорода невелики, то накапливается двууглекислая закись железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. В периоды повышения аэрации это соединение окисляется, образуя гидрат окиси железа:



Гидрат окиси железа выпадает в осадок в виде ржавых примазок и пятен. В заболоченных почвах эта реакция дает полосу ржавых пятен на верхней границе капиллярной каймы. Закисное железо подтягивается с восходящими капиллярными токами до зоны аэрации, где оно окисляется, переходит в нерастворимую форму и выпадает в осадок, как бы маркируя стык зоны аэрации и зоны восстановительных процессов. Ржавые пятна окиси железа характерны также для горизонтов временного заболачивания. В этом случае, если анаэробные условия сохраняются постоянно, то образуются вторичные минералы голубоватой или зеленоватой окраски: вивианит, сернистое железо. Эти соединения придают глеевым горизонтам сизоватый и голубоватый оттенки. Оглеение сопровождается увеличением дисперсности и гидрофильности материала. Макроструктура разрушается, понижается прочность микроструктурных элементов. В болотных почвах вообще, а особенно в глеевых горизонтах понижен окислительно-восстановительный потенциал.

При определении причины образования болот и излишне увлажненных земель необходимо учитывать весь комплекс естественно исторических факторов их развития. К основным причинам относятся: а) бедность почвы зольными элементами питания растений; б) условия поступления воды на заболачиваемую территорию и химический состав этой воды (так называемый тип водного питания); в) климатические, геологические и другие естественно-исторические факторы заболачиваемого участка; г) хозяйственная деятельность человека.

Во многих случаях причиной переувлажнения почвы является вмешательство человека в режим водотока или водоема. При этом окружающие земли подтопляются, зеркало грунтовых вод под ними повышается, колебания горизонта воды в водоемах вызывают периодическое затопление побережья иногда на большой площади. Причинами деградационных изменений кроме подтопления земель и заболачивания являются обводнение, трансформация застойного типа водного режима, длительное затопление тяжелых почв на рисовых системах, переувлажнение недренированных почв, возникновение верховодки на переуплотненных почвах, деградация осушенных торфяных почв, кислые торфяные почвы и др. Сплошная рубка леса в некоторых естественных условиях приводит к повышению уровня грунтовых вод и к образованию болот, ранее не существовавших. К тем же последствиям иногда приводит создание водохранилищ и связанный с этим подпор грунтовых вод (подтопление). Ирригационная сеть может явиться рассадником малярийного комара. Утечка воды при гражданском, промышленном и других строительствах иногда ведет к значительному повышению грунтовых вод, что угрожает устойчивости сооружений. Учет этих последствий хозяйственной деятельности человека совершенно необходим при выяснении причин заболачивания.

В условиях интенсивного орошения глубина залегания соленосных горизонтов при естественном увлажнении определяется глубиной промачивания почвы осенне-зимними осадками. Подъем уровня почвенно-грунтовых вод неизбежен, если отток их больше притока. Подъем их до пахотного слоя приводит к заболачиванию, связанному с засолением, если почвенно-грунтовые воды ми-

нерализованы. Отрицательные последствия заболачивания: нарушаются условия воздушного питания корней растений, угнетается микробиологическая деятельность, в почве накапливаются закисные соединения химических элементов, отравляюще действующие на растения, в итоге резко снижается почвенное плодородие. Растения, особенно плодовые, при избытке влаги испытывают недостаток в железе, меди, цинке и по этой причине заболевают хлорозом, летним усыханием побегов, розеточностью.

Причиной засоления может стать и минерализованная поливная вода. В переувлажненных почвах, особенно в затопляемых рисовых почвах, развиваются восстановительные процессы, потенциалы снижаются до $+0,2/-0,2$ В, что обусловлено деятельностью микроорганизмов, способных развиваться без доступа свободного O_2 и выделяющих в почву органические восстановленные соединения и свободный водород. В таких почвах элементы с переменной валентностью переходят в состояние низших степеней окисления, становятся подвижными, выделяется метан CH_4 , другие углеводороды. Когда длительно развиваются восстановительные процессы, в почвах появляется сизоватая окраска, железо и марганец восстанавливаются до Fe^{2+} и Mn^{2+} . Такие почвы называют оглееными или глеевыми. Переувлажненные или орошаемые и затопляемые почвы служат также одним из важнейших природных источников выделения в атмосферу метана и других углеводородов, вызывающих проявления «парникового» эффекта.

Количество переувлажненных минеральных земель очень велико. Много избыточно влажной пашни. Все переувлажненные почвы слабо аэрированы, теплоемки и теплопроводны, много испаряют воды, высыхают медленно, связны, трудно обрабатываются. Сроки обработки и сева здесь оттягиваются. Растения, не успев укорениться, летом страдают от жары, вследствие мелкого укоренения имеют мало доступной минеральной пищи, часто вымокают, полегают и не успевают дозреть. Проезд, проход, пастьба затруднены, иногда невозможны. В целом ведение сельского хозяйства здесь становится неэффективным. Установление всех причин образования болот или излишне увлажненных земель дает

возможность вести борьбу именно с этими причинами переувлажнения. Так как переувлажнение часто является следствием недостатка в почве минеральной пищи для растений, который связан с разрушением комковатой структуры в период почвообразования, то предотвратить его можно введением системы земледелия на большой территории многолетних трав, воссоздающих структуру почвы. Лесные насаждения на водоразделе и на непахотоспособных участках (овраг, пески и т.д.), полевой севооборот, насыщенный многолетними травами, система правильной обработки почвы, создание лесных полос на склоне и кормовой севооборот в низинах решительно уменьшают общий поверхностный сток и весенний паводок. При этом переувлажнение почв делювиальными потоками в низинах и образование слоистых почв уменьшается, в тоже время улучшается почвенная структура. На еще малоструктурных и маловлагоемких почвах при уклоне местности меньше 0,003-0,005 вспашку следует осуществлять вдоль склона для ускорения стока воды с поверхности почвы; при большем уклоне во избежание размыва почвы вспашка должна проводиться поперек склона, так как сток здесь и без продольных борозд достаточный. На верхних границах низин (особенно бессточных котловин) нужны нагорные канавы для перехватывания и отвода стока, стремящегося сюда с окружающих возвышенностей. Поверхность поля следует планировать, уничтожая низины с застойной водой. В отдельных случаях полезна сеть выборочных борозд для вывода застойной воды из мест вымочки. Необходимо раздробление дернины и разумное рыхление почвы для усиления аэрации почвы. Для придания водопрочности агрегатным комкам и понижения кислотности полезно известкование почвы, а для обогащения и улучшения состава бактериальной микрофлоры производят «прививку» бактерий, внося культурную почву на земли со слабым микробиозом. В отдельных случаях полезно вводить сильно транспирирующие растения, например, эвкалипт, подсолнечник, коноплю. Тропические гидроморфные почвы (особенно глеевые) слабо обеспечены азотом и фосфором, во влажных и аридных зонах преобладают почвы с нейтральной или щелочной реакцией. Это обстоятельство следует учитывать при их окультуривании и дальнейшем сель-

скохозяйственном использовании: на слаботорфянистых глеевых почвах следует возделывать пропашные с размещением их на гребнях (хлопчатник, батат, арахис и др.); на почвах с развитым торфяным горизонтом для предохранения его от быстрой минерализации органических веществ – культуры сплошного посева – многолетние пастбища (особенно в первые 2-3 года после их освоения), рис и другие, но в меньшей степени пропашные.

Переувлажнение в слабых его степенях устранимо агротехническими мерами. При сильном переувлажнении в дополнение к агротехническим мерам для отвода избытка воды необходимо проводить осушение. Оно коренным образом улучшает водно-воздушный режим почвы и оказывает благотворное влияние на прилегающие территории. Большое значение при этом имеет степень осушения. В зависимости от характера использования земель норма осушения изменяется от 50-60 см (травы) до 120-130 см (овощи и плодовые культуры).

Понижение уровня грунтовых вод под воздействием осушительных систем приводит к увеличению уклона грунтового потока на прилегающих территориях и объема притока воды к системе, что вызывает снижение (УГВ) за ее пределами и, следовательно, является причиной нарушения водообмена между грунтовыми водами и зоной аэрации. При этом уменьшаются испарение с поверхности грунтовых вод, питание их инфильтрационными водами, влажность почв, ухудшается влагообеспеченность растений.

В результате осушения переувлажненных земель происходят коренные изменения водно-физических, агрохимических свойств почвы и наблюдаются процессы деградации почвенного покрова. Понижение УГВ, интенсивная сработка торфяной почвы, эрозионные процессы влияют на трансформацию почвенного покрова вплоть до замены одного типа почв другим.

Осушение слабопроницаемых тяжелых по гранулометрическому составу суглинков и глин в сочетании с агромелиоративными и агротехническими мероприятиями улучшает их неблагоприятные водно-физические свойства. Резкое усиление роли атмосферного увлажнения на осушаемых почвах вызывает ак-

тивное выщелачивание из верхнего горизонта органического вещества и обеднение почвенно-поглощающего комплекса.

При осушении тяжелых почв отвод всей избыточной воды через внутрипочвенный сток практически невозможен даже при частом дренаже.

На объектах мелиорации с закрытой осушительной сетью ареалы избыточно увлажненных почв приурочены к местам схождения линий тока в случае, когда дренажная сеть не обеспечивает эффективный отвод избыточной влаги на водосборе.

Осушение переувлажненных склоновых почв имеет важное противозрозионное значение, поскольку дренажная система во влажные периоды перехватывает и отводит избыточную влагу, благодаря чему уменьшается интенсивность поверхностного стока весной – в наиболее активный период смыва почвы. Следует отметить, что на дренированных участках со слабопроницаемыми почвами объем поверхностного стока на 30-50% меньше, а потери почв в основном на 30% меньше, чем с недренированных.

На существующих осушаемых землях, а также на землях кратковременного увлажнения широкое распространение должны получить наиболее эффективные способы осушения – закрытый горизонтальный дренаж и его сочетание с кротовым и кротованием, а также осушение ложбинами.

Для оптимизации плодородия почв мелиорированных территорий осушение целесообразно проводить из расчета использования их под луговые угодья (норма осушения 50-80 см). Это позволяет полностью ликвидировать или уменьшить неблагоприятные изменения осушаемых почв.

Важной проблемой является ликвидация уплотнения почвы, которое создается при работе тяжелой сельскохозяйственной техники, в результате чего на глубине 30-50 см образуется слабоводопроницаемые прослойки, приводящие к застою воды в верхних слоях почвы из-за их низкой водопроницаемости; это приводит к формированию поверхностного стока. Снижение уплотнения и улучшение водопроницаемости почв достигается периодическим рыхлением (раз в два-пять лет) на отдельных участках на глубину 40-60 см под углом более

30 к направлению обработки почвы. Агромелиоративные мероприятия по устранению уплотнения следует применять при значениях плотности сложения на суглинках более $1,50-1,52 \text{ г/см}^3$, при этом некапиллярная порозность должна быть менее 10%, значения рН – 5,5; значения коэффициентов фильтрации – менее 0,3 м/сут.

В настоящее время применяется кротование, глубокое рыхление, сплошное и полосовое. Полосовое рыхление выполняется в виде отдельных полос. Все мероприятия проводятся при влажности почвы в зоне рыхления 60-80% от наименьшей влагоемкости.

Для увеличения продолжительности действия глубокого рыхления, улучшения водно-физических и агрохимических свойств осушаемых склоновых слабопроницаемых минеральных почв и их плодородия в сочетании с рыхлением следует применять химическую и биологическую мелиорацию пахотных и подпахотных горизонтов: внесение в подпахотный слой высоких доз извести, химмелиорантов, минеральных и органических удобрений, выращивание сельскохозяйственных культур с интенсивно развивающейся корневой системой. Высокая эффективность осушения достигается в комплексе с другими мероприятиями. Одно осушение уничтожает травянистую растительность, приводит к сносу зольных элементов в реку. Поэтому наряду с осушением выполняется ряд особых культуртехнических мер, а именно: 1) сведение леса и кустарника, корчевка пней; 2) удаление камней, срезка кочек; 3) общая планировка поверхности почвы; 4) уничтожение дернины фрезерованием, вспашкой, дискованием и пр.; 5) начальное внесение удобрений; 6) применение специальных мер культуры болот; 7) освоение целинных осушенных земель предварительными культурами до введения проектного севооборота насыщенного многолетними травами, создающими мощный травостой.

Перед основной обработкой (К. Sarma et. Al., 1978) вносят под зерновые 100 кг/га азота, 55 кг/га фосфора и 45 кг/га калия, перед посевом – 25 т/га навоза, а на засоленных почвах – 4 т/га гипса. Внесения навоза, компоста или запа-

хивание сидеральных удобрений в период освоения является необходимым приемом, усиливающим микробиологическую активность почв.

Очень важно, чтобы обрабатываемый слой сохранял высокую влажность, предохраняющую от быстрого разложения торфянистого слоя и его дефляции. Для уплотнения рыхлого торфянистого пахотного слоя и усиления подтока влаги по капиллярам с влажного подпахотного слоя производят прикатывание тяжелыми водоналивными катками. На почвах с торфяным горизонтом сохраняют при их освоении высокий уровень грунтовых вод (50-70 см) для предохранения их от высыхания и дефляции особенно в сухом сезоне.

ТЕМА 12

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ

Почва, являющаяся одним из компонентов биосферы, выполняет ряд глобальных функций. Одна из которых – сохранение биологического разнообразия, так как почва является средой обитания огромного числа микроорганизмов.

Микроскопическое население почвы состоит из бактерий, грибов, актиномицетов, микроскопических водорослей и простейших. Наиболее важную роль в трансформации веществ в почве и формировании ее плодородия играют первые три группы микроорганизмов. Их общая численность сильно зависит от типа почвы, агроклиматических факторов и может составлять от 20 млн до 3 млрд клеток в 1 г почвы, или в перерасчете на их массу от 0,1 до 0,9 т/га почвы. В составе почвенного органического вещества на массу клеток микроорганизмов приходится 0,1-2,5%. Биомасса микробов чрезвычайно активна. Площадь их поверхности на 1 га пахотного слоя почвы достигает нескольких сотен гектаров.

Благодаря огромной поверхности соприкосновения с почвой, мощному ферментативному аппарату и разнообразным продуктам метаболизма почвенная микрофлора является основной действенной силой в накоплении питательных и биологически активных веществ в почвах, инактивации попадающих в нее загрязнителей.

Микроорганизмы почвы чрезвычайно разнообразны по выполняемым функциям, которые определяются не только типом питания, но и источником энергии, необходимой для их жизнедеятельности. Большинство почвенного микробного сообщества относится к сапрофитам, которые в отличие от паразитов питаются мертвыми растительными и животными остатками. Разлагая разнообразные сложные органические соединения, они получают таким образом для своей жизнедеятельности более простые органогенные и зольные элементы.

В зависимости от источника энергии, необходимой для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, они подразделяются на гетеротрофы и автотрофы. Первые получают необходимую энергию из сложных органических соединений, а вторые способны создавать органическое вещество, усваивая, как и растения, углекислый газ, используя для этого энергию солнца – цианобактерии или энергию, получаемую от окисления неорганических соединений, таких как аммиак-нитрификаторы, двухвалентное железо и марганец – железобактерии, сероводород и сульфиды – серобактерии, водород – метаноокисляющие бактерии.

Всевозрастающее химическое воздействие на почву приводит к существенной количественной и качественной перестройке всего микробного почвенного сообщества. Это сопровождается обеднением его видового состава, частичным или полным исчезновением агрономически важных групп микроорганизмов, подавлением биологической фиксации атмосферного азота и активности фосфатмобилизующей микрофлоры, усилением минерализации гумуса, а также микробиологических процессов нитрификации и денитрификации, приводящих к потерям азота из почвы в виде газообразных и растворимых форм этого элемента.

Если в почвы вносят достаточное количество органических удобрений, это благоприятно сказывается на структуре микробного комплекса, возрастает максимальный функциональный пул микроорганизмов. Переход почв в залежь также благоприятно сказывается на их биологическом разнообразии. Восстанавливается природная структура микробных сообществ, постепенно увеличивается видовое разнообразие.

Источником энергии для большинства почвенных микроорганизмов, является органическое вещество, которое образуется в почве в основном за счет растений. В условиях сельскохозяйственного производства (механическая обработка почвы, применение минеральных и органических удобрений, применение средств защиты растений и др.) отмечается изменение структуры микробиологического комплекса и его функциональная перестройка. Изменения

структуры микробных комплексов проявляются как в нарушении зонального соотношения содержания различных групп почвенных микроорганизмов (грибов, бактерий, актиномицетов), так и в изменении их биоморфологической структуры, снижении их видового разнообразия, изменении состава, пространственной и временной структуры видов почвенных микробов.

Нарушение функций микробных сообществ проявляется в изменении интенсивности проводимых ими процессов – трансформации органических веществ. Происходит дегумификация почвы, снижается качество гумуса, и многие ризосферные микроорганизмы начинают разлагать не только гумус, но и живые корни растений.

Наряду с обеднением общих форм микробного разнообразия, при антропогенных воздействиях могут происходить негативные, с точки зрения сохранения природных зональных комплексов, изменения состава почвенной микробиоты. В почвах может происходить элиминация видов, которые можно считать характерными для определенных зональных условий. И микробный комплекс отчасти теряет этот типичный для зональных почв вид, так как его встречаемость и обилие снижается.

Одновременно в антропогенно нарушенных местообитаниях часто увеличивается (в несколько раз) относительное присутствие широко распространенных (эвритопных) микроорганизмов. В антропогенно нарушенных почвах может снижаться доля активных микробов и увеличиваться доля покоящихся клеток. Так, характерная особенность бактериального комплекса загрязненных почв – низкая доля метаболически активных клеток. Например, в ненарушенных серых лесных почвах доля метаболически активных клеток составляла около 60%, а в загрязненных образцах в среднем около 20%

Антропогенные факторы, вызывающие деградацию почв и изменяющие состав почвенной микробиоты, могут нарушать функционирование зоомикробных комплексов и сложившихся связей. Установлено, что антропогенные факторы могут: а) приводить к развитию токсичных и репеллентных для почвенных беспозвоночных животных видов микробов, б) нарушать трофиче-

ские цепи беспозвоночных и в) неблагоприятно влиять на развитие популяций этих животных. Антропогенные трансформации комплексов почвенных микроорганизмов, которые изменяют их состав, могут приводить и к накоплению в почвах микробов опасных для здоровья человека.

Деградация почвенного покрова планеты сопровождается глубокими изменениями структуры комплекса почвенных микроорганизмов, нарушением процессов разложения органического вещества в почвах; изменением интенсивности биогеохимических циклов биофильных элементов в почвах, прежде всего углерода и азота, продукты микробной трансформации которых – CO_2 , CH_4 и N_2O принимают активное участие в биосферных процессах, например глобальном изменении климата.

При регулярном применении минеральных удобрений (без внесения органических), даже в умеренных дозах, через 3-4 года микробная система попадает в зону стресса, а на малогумусных почвах – в зону репрессии. При этом из микробного сообщества выпадают многие формы, например, азотобактер, спороносные бактерии, целлюлозолитические микроорганизмы. Остаются устойчивые (резистентные) популяции микроорганизмов – мелкие неспороносные формы, микроскопические грибы.

Наиболее существенных изменений следует ожидать под влиянием антропогенных воздействий на почвы – при внесении минеральных удобрений и средств защиты растений (пестицидов); вследствие аккумуляции в почвах тяжелых металлов и радионуклидов; искусственном орошении и, часто связанных с этим, засолением и избыточным переувлажнением почв, разрушением структуры почвенных агрегатов, также других воздействиях.

Так, в агроценозах эмиссия парниковых газов (CO_2 , CH_4 и N_2O) увеличивается пропорционально дозе вносимого азота, достигая наибольшей величины при использовании минеральных азотных удобрений в аммонийной и амидной формах, причем использование медленнодействующих удобрений, синтезированных на основе органического вещества (МФУ – мочевино-формальдегидных

удобрений) приводит к возрастанию газообразных потерь азота за счет денитрификации.

Особый характер эмиссии парниковых газов (закиси азота) обнаружен в интразональных засоленных почвах (солончаки сульфатно-хлоридного типа засоления). Установлено, что в этих почвах денитрификация протекает преимущественно до стадии образования закиси азота. Это приводит к ее повышенной эмиссии из почв в атмосферу.

Наиболее значимое влияние на процессы образования и поглощения парниковых газов оказывает деградация агрегатного состава почв. Считается, что анаэробные условия формируются внутри почвенных агрегатов за счет активного поглощения кислорода на их поверхности в результате окисления органического вещества. Этот процесс должен сопровождаться значительной эмиссией диоксида углерода. Следовательно, окисление органического вещества в почвах наиболее интенсивно протекает на поверхности почвенных агрегатов. Как известно, почвенные агрегаты делятся на водопрочные и неводопрочные, разрушающиеся под действием воды, например при переувлажнении. При этом агрегаты большого диаметра, как правило, состоят из водопрочных агрегатов меньшего размера, которые длительного времени сохраняют свою форму и являются одним из диагностических признаков почв. Изучение соотношения продуктов денитрификации – закиси азота и молекулярного азота, выделяющихся из водопрочных агрегатов, показало, что прослеживается четкая зависимость между диаметром агрегатов и составом газообразных потерь азота за счет денитрификации. Отмечено, что выделение NO происходит только из кислых почв, причем с увеличением размера агрегатов доля окиси азота сокращалась

Таким образом, разрушение почвенной структуры или распыление почв будет сопровождаться возрастанием доли закиси азота, а в некоторых случаях и окиси азота в газообразных продуктах денитрификации.

При загрязнении почв тяжелыми металлами заметно снижается численность колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов (клеточных и; мицелиальных бактерий и грибов), биомасса, качественное разнообразие микро-

организмов, популяционная плотность отдельных видов и физиологических групп микроорганизмов (целлюлозолитиков, нитрификаторов, азотфиксаторов), подавляется интенсивность разрушения растительных остатков и трансформации азота (азотфиксации, денитрификации, нитрификации, аммонификации), активность почвенных ферментов (каталазы, дегидрогеназы, уреазы, инвертазы, фосфатазы и многих других).

В почвах, где содержание тяжелых металлов превышает фоновое в несколько (до 5-10) раз изменения в запасах биомассы, активности микробиологических процессов и видовой структуре микробных сообществ четко не выражены. Можно обнаружить как некоторое снижение, так и стимуляцию интенсивности биохимических процессов и повышение численности КОЕ микроорганизмов. Диапазон этих изменений, как правило, не превышает их варьирование в почвах под влиянием естественных экологических факторов. Дальнейшее повышение содержания тяжелых металлов приводит к снижению активности многих микробиологических процессов (азотфиксации, нитрификации, денитрификации, дыхания), разложения различных органических соединений и ферментативной активности почв. Начинает меняться видовая структура активно функционирующих микробных сообществ. Высокую чувствительность к загрязнению почвы тяжелыми металлами проявляют часто актиномицеты, олиготрофные микроорганизмы, азотобактер и липомицеты. Возрастает доля закиси азота, одного из парниковых газов, среди продуктов восстановления нитратов у денитрификаторов.

При контаминации металлами на два порядка выше фонового происходит нарастание негативных изменений в функционировании и структуре микробного комплекса почв. Снижаются запасы микробной биомассы, дыхание почвы, резко сокращается спектр утилизируемых микроорганизмами субстратов, упрощается структура комплексов бактерий, актиномицетов, грибов и микробных сообществ, возрастает количество пигментированных форм и преимущественное развитие получают токсинообразующие виды. Отмечается усиление фито-

токсической активности у микромицетов из загрязненных тяжелыми металлами (свинцом) почв в сравнении с штаммами, выделенными из контрольной почвы.

При содержании тяжелых металлов на три порядка выше по сравнению с фоном ингибируется развитие типичных для этой почвы микроорганизмов и активность многих биологических процессов. Функционировать в почвах способно только ограниченное число микроорганизмов, резистентных к данному поллютанту. Среди микроорганизмов повышенная устойчивость к тяжелым металлам наиболее часто наблюдается у грамм-положительных бактерий (бацилл) и микроскопических грибов. Более высокие концентрации тяжелых металлов приводят к полной блокировке микробиологической активности почв и гибели микроорганизмов.

Тяжелые металлы проявляют мутагенную активность в отношении микроорганизмов в почве. Мутагенное действие кадмия на микроорганизмы обнаруживается в почве при концентрациях на два порядка более высоких, чем на средах.

Можно выделить четыре типа адаптивных реакций микробного комплекса на загрязнение почвы тяжелыми металлами. Зона гомеостаза – диапазон концентраций поллютанта, при которых существенно не меняется структура сообществ и функционирование микробиоты; зона стресса, соответствует тем концентрациям металла, когда меняется структура сообществ, снижается активность микробиологических процессов и нарушаются цепи первичного и вторичного метаболизма; зона резистентности, диапазон концентраций металла в почве, когда развиваются только устойчивые к данному поллютанту микроорганизмы и зона репрессии, содержание металла столь высоко, что это ведет к подавлению жизнедеятельности микроорганизмов в почве и их гибели.

Степень ингибирования микробиологических процессов и характер реакции комплекса микроорганизмов на загрязнение тяжелыми металлами зависит от концентрации и формы конкретного элемента и физико-химических свойств почвы. По силе воздействия на инициированные амилалитические микробные сообщества почв металлы располагаются в следующий ряд: Hg>Cd>Ni>Cu>Pb,

на численность КОЕ бактерий: $Hg > Cd > Pb > Cu > Zn$. Сравнительная токсичность металлов по отношению к почвенным ферментам и микробиологическим процессам, как правило, убывает от Hg и Cd, к Zn, Си и РЬ. Подвижные формы металлов обладают большим токсическим эффектом на почвенную биоту, чем слаборастворимые. Снижение подвижности тяжелых металлов связано напрямую с буферностью почв, зависящей от содержания и состава органических веществ и глинистых минералов. Устойчивость микробных сообществ почв зонального ряда к этим загрязнителям соответствует их буферным возможностям – максимальна в черноземах, затем следует серозем обыкновенный, дерново-подзолистая и сильноподзолистая почва. Выше стабильность к воздействию металлов у микробиоты тяжелосуглинистых и торфяных почв по сравнению с легкими, песчаными почвами.

Самовосстановление загрязненных тяжелыми металлами почв – процесс крайне медленный и составляет многие десятки-сотни лет. При восстановлении почв, загрязненных различными органическими веществами, микроорганизмы разлагают большинство из них до простых нетоксичных соединений. В случаях загрязнения почв тяжелыми металлами активность микроорганизмов меняет их подвижность, может привести к образованию их летучих соединений, временному исключению из миграционных потоков за счет сорбции на поверхности клеточной стенки и аккумуляции в микробных клетках.

Деятельность микроорганизмов, в результате которой повышается подвижность металлов в почвенном растворе или образуются газообразные вещества, ускоряет восстановление почв, но одновременно ведет к загрязнению атмосферы, подпочвенных слоев пород и грунтовых вод, делает металлы более доступными для растений и других организмов. Микроорганизмы почвы проводят метилирование тяжелых металлов с образованием газообразных соединений. Эти процессы наиболее активны в аэробных условиях, при нейтральной реакции среды и повышенных температурах. Микроорганизмы способны также разрушать металлорганические соединения (цианиды и метилированные ме-

таллы), изменять окислительно-восстановительный статус металлов и тем самым снижать проявления металлотоксикоза почвы.

Антимутагенная активность почв по отношению к тяжелым металлам во многом также определяется микробиологическими факторами. При микробном разложении растительных остатков образуются антимутагенные соединения (галловая и танниновая кислоты). Обезвреживание в почве такого мутагена, как Fe^{2+} и снижение мутагенной активности Cr^{+} происходит, соответственно, за счет окисления и редукции этих ионов микроорганизмами.

Образование хелатных соединений металлов с микробными метаболитами (сидерофорами, лимонной, молочной, уксусной кислотами, аминокислотами), продуктами разложения растительных остатков повышает их подвижность и возможность постепенной миграции с водными токами и усиление аккумуляции растениями. Стойкость комплексного соединения органического вещества с металлом во многом определяется свойствами последнего и это позволяет установить следующий порядок устойчивости хелатов металлов: Pb, Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Fe, Mn, Mg.

Временное закрепление тяжелых металлов микроорганизмами и перевод в малоподвижные соединения снижает металлотоксикоз почвы, но процесс освобождения почв от металлов при этом замедляется. Одним из таких процессов является соосаждение гидроксидов металлов с гидроксидами железа и марганца, что осуществляется при активизации железомарганцевых бактерий. Осаждение ионов металлов в виде сульфидов связано с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий.

Аккумуляция тяжелых металлов в микробных клетках несет также угрозу вовлечения металлов в трофические цепи, так как микробы – источник питания для простейших, многих почвенных беспозвоночных животных. В биомассе микроорганизмов почв различных геохимических провинций одновременно закреплено марганца от 0,4 до 4,4 кг, меди до 0,6 кг, молибдена до 0,143 кг, ванадия до 0,124 кг, свинца до 0,075 кг. Аккумуляция металлов в биомассе резко возрастает при увеличении их содержания в почве. Так, в биохимической про-

винции, обогащенной молибденом, медью и ванадием в биомассу включено в десятки раз больше этих элементов по сравнению с обедненной провинцией.

Загрязнение почв тяжелыми металлами сопровождается снижением скорости восстановления закиси азота в почвах и, следовательно, ростом потока N_2O из почв в атмосферу.

Экологически важной является оценка устойчивости микробного комплекса к металлам по характеру реакции аμιололитических микробных сообществ на их дополнительное внесение в почву, что позволяет диагностировать средний уровень загрязнения этими поллютантами почв.

Важным индикационным показателем является повышение плотности микробных популяций в почве, резистентных к тяжелым металлам, что свидетельствует о длительном или существенном уровне загрязнения. При этом создаются большие перегрузки для самоочищающей способности почвы, тормозится или полностью прекращается деятельность саморегулирующего гомеостаза, вызывая появление техногенных «пустынь».

Чтобы избежать биологической деградации почв, необходимо проводить регулярный мониторинг ее биологической активности, поскольку биологическая система почвы является тонким индикатором и первой реагирует на эндогенное влияние. Поэтому крайне важно определить момент попадания микробной системы в зону стресса и предотвратить ее переход в зону резистентности и тем более в зону репрессии. Для этого необходимо использовать комплексный подход в индикации антропогенно загрязненных почв.

Важным природоохранным элементом, обеспечивающим благоприятную фитосанитарную обстановку в почве, оптимальный режим воспроизводства гумуса и питательных веществ, является севооборот. К числу важных факторов биологизации земледелия, а также мощного регулятора почвенно-микробиологических процессов следует отнести дополнительное внесение в почву органических веществ (навоз, солома, сидераты и др.).

Альтернативой применения в земледелии минерального азота является использование экологически чистого и экономически дешевого биологического

азота, образуемого в симбиотических системах с бобовыми и ассоциациями микроорганизмов с небобовыми культурами. Пополнения азотного фонда почвы за счет биологического азота можно достигнуть путем использования препаратов азотфиксирующих микроорганизмов, сочетая их с более рациональным внесением азотных удобрений, стабилизируя последние на уровне экономически и экологически обоснованных норм.

Многолетняя практика использования ризоторфина показывает, что он повышает урожай сельскохозяйственных культур. В урожае увеличивается содержание протеина, а у растений повышается устойчивость к бактериальным болезням. Бобовые растения, возделываемые с применением ризоторфина, оставляют в почве с пожнивными остатками до 50—170 кг/га органического азота. Препарат экологически безопасен и экономически выгоден по сравнению с азотными удобрениями. В последние годы для улучшения азотного питания злаковых трав, кукурузы, пшеницы, проса, ячменя рекомендуют препараты ризосферных микроорганизмов.

Для обезвреживания загрязняющих веществ техногенного характера довольно широко используются микроорганизмы. Эффективным является метод активизации почвенных микроорганизмов-деструкторов с помощью создания оптимальных условий среды или внесение штамма микроорганизмов. Чистые культуры микроорганизмов стимулируют корнеобразование, выделяя физиологически активные вещества, обладающие высокой степенью приживаемости в корнеобитаемом слое почвы. Внесенные в почву микроорганизмы способны очистить загрязненную химическими соединениями почву. Микробиологическая технология (ЭМ-технология) разработана в Японии и получила применение во многих странах мира.

Только почвенная микрофлора способна высвободить фосфаты из минеральных и органических соединений за счет кислых метаболитов и ферментов, увеличивая их доступность растениям. В последние годы задачу улучшения фосфорного питания растений пытаются решить за счет микоризных и свободноживущих микроорганизмов (Англия, Канада, Дания, США).

При выборе метода для биоиндикации техногенно нарушенных почв необходимо исходить из следующих критериев – его чувствительности, вариативности получаемых результатов, сложности метода и длительности анализа, возможности его применения на различных почвах (универсальность), селективности в детекции различных загрязнителей, типов деградации почв. Принципиальным моментом является экологическая важность исследуемого показателя (активность процесса круговорота С, N, токсичность почвы и т.д.), необходимо знание естественного диапазона вариации значений этого свойства и его взаимосвязь с другими параметрами почвы, а также содержание поллютантов и оценка биологических показателей в сравнении с фоновыми почвами.

Технологически реализуемым биологическим путем постепенного удаления тяжелых металлов из почв без загрязнения сопредельных сред является фиторемедиация. При фиторемедиации важное значение имеет активизация микробиоты и формирование микоризы, что повышает толерантность растений к тяжелым металлам. Учитывая сложность и длительность ремедиации загрязненных тяжелыми металлами почв, особую актуальность приобретает разработка приемов ранней индикации их деградации.

Рациональное использование микробиологических факторов в земледелии позволяет значительно повысить эффективность сельскохозяйственного производства, обеспечить его стабильность и природоохранный характер.

ТЕМА 13

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ТИП ДЕГРАДАЦИИ

По оценкам Международной организации ФАО, около 70% площади суши земного шара представлены малопродуктивными угодьями, производительность которых ограничена почвенно-климатическими, рельефными или хозяйственными условиями. Увеличиваются потери продуктивных почв мира. За последние 50 лет общая площадь продуктивных почв уменьшилась на 300 млн га, а количество утраченного в процессе дегумификации органического углерода составило 38 млрд т (Г.В. Добровольский, 2000). Решение продовольственной проблемы в мировом масштабе, в том числе и в тропических странах, невозможно без вовлечения в сельскохозяйственное производство природных малопродуктивных и деградированных почв. Для эффективного использования деградированных почв требуется система мелиоративных мероприятий по расширенному воспроизводству почвенного плодородия, основанная на восстановлении их свойств, в том числе за счет восполнения утраченной энергии. Антропогенное вмешательство изменяет направленность потоков энергии, нарушая сложившееся равновесие в природных биологических системах. Основными источниками энергии и питательных веществ, вносимых в почву, являются органические удобрения, торф, сидераты, осадки сточных вод, пресноводные сапропели. Все они содержат аккумулированную солнечную энергию, которая в почве может трансформироваться в энергию почвенного гумуса, что позволяет повысить продуктивность земель.

Пути повышения плодородия деградированных почв связаны с ликвидацией причин и последствий деградации и восстановлением их исходного вещественно-энергетического состояния. Из всех форм энергии: механической, электрической, гравитационной, химической, электромагнитной, ядерной и др., лишь две усваиваются биологическими системами. Энергетические ресурсы живого – свет (электромагнитная энергия) и вещества (химическая энергия).

Явление жизни, как формы движения материи, характеризуется на вещественном уровне образованием способного к репликации органического вещества. На энергетическом уровне, аккумуляцией энергии, обеспечивающей функции биологических систем. Основным источником энергии для живого вещества является энергия Солнца, в процессе фотосинтеза происходит трансформация электромагнитного поля солнечного света в вещество органических молекул.

В процессе фотосинтеза идет трансформация электромагнитной энергии солнечного луча в химическую энергию органического вещества. Наличие этой энергии характеризует основное качество органических молекул – горючесть. Любое превращение органических веществ в биоценозе (рост, развитие и отмирание биоты, формирование, аккумуляция и минерализация гумуса) характеризуется направлением и силой энергетического потока, берущего свое начало из основного источника жизни на нашей Земле – Солнца.

Почва является важнейшим компонентом экосистемы. Почвенное плодородие обеспечивает возможность аккумуляции солнечной энергии зелеными растениями. Биологическая активность почвы – освобождение этой энергии редуцентами, в том числе почвенной микрофлорой, в процессе разложения, гумификации и минерализации органического вещества. Почвенное плодородие реализуется в почвенной продуктивности, в результате формируется урожай, аккумулирующий солнечную энергию в процессе фотосинтеза. Следовательно, почва создает накопители энергии – зеленые растения. Часть накопленной энергии, не использованная консументами, возвращается в почву непосредственно, часть – через цепь питания, в результате формируется почвенный гумус, который расходуется в дальнейшем на повышение продуктивности. Таким образом, почва затрачивает накопленную в гумусе энергию на обеспечение поступления новой энергии через фотосинтез. Возврат аккумулированной энергии в почву идет в форме органического вещества, которое содержит основные элементы питания, освобождающиеся при его минерализации. Тем самым почва обеспечивает круговорот веществ в биогеоценозе. В биогеоценозе возникает поток энергии, который является постоянным при существующем уровне раз-

вития экосистемы. Изменение потока энергии включает процессы саморегуляции через почвенное плодородие и приводит или к увеличению продуктивности почвы при усилении притока энергии, или понижению продуктивности при снижении. Таким образом, через почвенное плодородие осуществляется регуляция потока энергии и круговорота веществ в биогеоценозе. Саморегуляция почвы способствует максимальному поступлению и эффективному использованию солнечной энергии в биогеоценозе.

Высокий уровень почвенного плодородия является критерием эффективного использования энергии и характеризует высокий уровень организации экосистемы. Применительно к экосистемам существуют понятия:

- а) валовая первичная продукция – все органические соединения, синтезируемые продуцентами;
- б) чистая первичная продукция, которая остается после вычета потерь связанных с жизнедеятельностью биоты.

Соотношение чистая первичная продукция / валовая первичная продукция характеризует отношение конструктивного метаболизма к энергетическому и является постоянным для каждой экосистемы и характеризует уровень ее организации. Чем соотношение больше, тем выше уровень организации системы. Для почвы это генетически запрограммированный уровень плодородия, который определяется как потенциальное плодородие. Это же соотношение можно рассмотреть не на вещественном, а на энергетическом уровне, тогда энергия, аккумулированная в первичном веществе, – это входящая энергия, энергия в чистой первичной продукции — выходящая энергия.

Разница между потоками энергии тратится на поддержание существующего уровня организации системы, и чем он выше, тем больше энергии на это расходуется. В ходе эволюции систем указанные отношения понижаются до некоторого стационарного значения. Любая система надорганизменного уровня эволюционирует таким образом, что поток используемой энергии на единицу биологической структуры возрастает. Этот тезис подкрепляется данными о повышении интенсивности энергетического обмена в процессе эволюции. Ус-

тойчивое почвенное плодородие должно обеспечиваться постоянством разницы входящей и выходящей энергии. Повышение потока выходящей энергии снижает уровень организации почвы.

Рассмотрим влияние антропогенного фактора на энергетическое состояние почвы. В сельском хозяйстве при стремлении получить максимальный урожай с наименьшими затратами энергии, без внесения органического вещества, максимально уменьшают соотношение чистой первичной продукции к валовой первичной продукции почвенных биогеоценозов и снижают соотношение $E_{\text{входящая}} / E_{\text{выходящая}}$. Уровень организации экосистемы снижается, что сопровождается деградационными изменениями почвенного покрова и в конечном итоге снижает продуктивность почвы. Увеличение этого соотношения за счет возрастания потока входящей энергии путем внесения органического вещества и активизации процессов гумусообразования, переводит биогеоценоз в более сложный уровень организации, возникают другие связи между всеми компонентами системы, разница между $E_{\text{входящая}}$ и $E_{\text{выходящая}}$ увеличивается и требуется все больше затрат энергии на сохранение этого состояния и поддержания почвенной продуктивности на достигнутом уровне.

Оптимальный путь воздействия на почву – поддержание сложившегося уровня организации путем регуляции энергетических потоков на генетически запрограммированном в экосистеме уровне. Наиболее экологически обоснованный путь – восстановление и поддержание гумусового запаса почвы на уровне, характерном для целинных почв данного типа. Энергию гумуса почвы можно назвать буферной, она обеспечивает динамическую устойчивость экосистемы, при увеличении входящей энергии, избыток аккумулируется в гумусе, при недостатке — энергия гумуса расходуется на восстановление оптимального для данного уровня организации биогеоценоза, энергетического потока. Если емкость этого энергетического буфера снижается, снижается устойчивость всей системы к неблагоприятным внешним воздействиям. Поэтому для сохранения буферного запаса энергии в почве необходимо сохранить постоянство гумусового запаса, а при его снижении – внести дополнительную энергию

органического вещества для сохранения генетически запрограммированного уровня организации биогеоценоза.

Основная роль органических удобрений не столько вещественная (источники элементов питания), сколько энергетическая (внесение дополнительной энергии). Применение энергии органических соединений для восстановления энергии почвенного плодородия экологически обосновано, так как повышение плодородия усиливает процессы аккумуляции солнечной энергии и способствует сохранению буферного запаса энергии в биосфере.

До появления цивилизации регуляция генетически запрограммированного уровня организации в биогеоценозах путем перераспределения энергетических потоков шла автоматически, что и привело к возникновению различных по природной продуктивности почв. Появление антропогенного фактора нарушило установившееся равновесие. Поскольку необходимость внесения дополнительной энергии с органическим веществом возникла после включения антропогенного фактора, то экологично использование тех запасов энергии, которые возникли в результате антропогенного вмешательства. Исторически этот путь давно реализуется при использовании в качестве органических удобрений навоза, соломы, сидератов, все это накопители антропогенных потоков энергии в биосфере.

В последнее время разрабатываются технологии использования бытовых и промышленных отходов, содержащих немалое количество энергии в органическом веществе. Особо стоит вопрос о захороненных в литосфере запасах энергии органического углерода. С одной стороны, использование этой энергии способствует восстановлению равновесия в процессе круговорота веществ, с другой – слишком быстрое использование этой энергии может привести к экологической катастрофе. Экологически перспективным является использование запасов энергии захороненного органического углерода через повышение почвенного плодородия, создав тем самым условия для возобновления израсходованных энергетических ресурсов.

На современном уровне развития цивилизации экологически целесообразно непосредственное использование энергии, аккумулированной в органических веществах, сходных по строению и свойствам с почвенным гумусом и доступных для почвенной микрофлоры. Такими формами аккумулированной энергии является органическое вещество сапропеля и торфа. Использование энергии органического вещества сапропелей и торфа для повышения почвенного плодородия позволит восстановить утраченную энергию за счет активизации процессов фотосинтеза при повышении почвенного плодородия.

Внесение дополнительной энергии с органическим веществом различного генезиса повышает энергию почвенного плодородия. На вещественном уровне повышение плодородия является следствием минерализации внесенного органического вещества, повышением количества доступных элементов питания растений, что активизирует рост растений и микробиологическую активность почвы. Энергия почвенного плодородия влияет на повышение энергии фотосинтеза и усиление процессов гумификации, что способствует накоплению буферной энергии почвы.

Состав и свойства органических материалов определяют скорость использования аккумулированной в них энергии. Негумифицированное органическое вещество навоза, сидератов, промышленных отходов быстро разлагается в почве, что приводит к потерям энергии и нарушению гомеостаза почвы, поэтому при внесении негумифицированных легкоразлагающихся органических соединений требуется точная дозировка вносимой энергии и регулярное внесение. Целью внесения негумифицированного органического вещества является получение дополнительных элементов питания растений за счет активизации почвенной микрофлоры. Приемы трансформации этим путем – повышение почвенного плодородия, которое определяется как эффективное.

Использование гумифицированных источников энергии, таких, как компосты, торф и сапропель способствует повышению буферного запаса энергии почвы за счет увеличения количества гумуса и активизации почвенной микрофлоры, усиливающей не столько процессы минерализации органического ве-

щества, сколько гумификации и гумусообразования. Повышение гумусового запаса почвы переводит ее на более высокий уровень организации и позволяет повысить почвенное плодородие, не деградируя саму почву. Такой процесс способствует восстановлению деградированных почв за счет повышения потенциального почвенного плодородия.

Таким образом, энергетический подход к проблеме повышения почвенного плодородия заключается в следующем. Энергия почвенного плодородия формируется вещественными, энергетическими и информационными источниками, роль которых могут играть пресноводные сапропели, торф и удобрительно-мелиорирующие смеси на их основе. Большая часть деградационных процессов в почве связана со снижением аккумулированного запаса солнечной энергии в органическом веществе почвы.

Чтобы провести энергетический анализ экосистем, требуется предварительно оценить энергетический потенциал компонентов. Все процессы на Земле на исходном этапе обеспечиваются энергией Солнца, каждую секунду наша планета получает $16,7-20,9 \cdot 10^{13}$ кДж. Эта энергия вызывает движение двух круговоротов – большого геологического и малого биологического. Только 0,1-0,2% солнечной энергии поглощается растениями, но эта энергия совершает огромную работу. Она «запускает» процессы биосинтеза и трансформируется в энергию химических связей синтезируемых органических веществ. Главный запас потенциальной биогенной энергии сосредоточен в почвенном покрове в виде корней растений, биомассы микроорганизмов и гумуса.

Для выяснения вопросов биоэнергетики особое значение имеет изучение энергетики почвообразования. Источник энергии почвообразования – это солнечная энергия, достигаемая земной поверхностью и определяемая как радиационный баланс земной поверхности (R). Количество тепла, приходящее изнутри земного шара к поверхности почвы, очень мало по сравнению с солнечным теплом и при расчетах может во внимание не приниматься. Следует отметить, что почва связана с другими компонентами биосферы не только энергетическими, но и субстанционными связями.

Работа, производимая системой, определяет расход энергии. В качестве наиболее значимых расходов энергии в почвообразовании В.Р. Волобуев (1974) выделяет:

- 1) биологические процессы круговорота веществ;
- 2) физическое и химическое выветривание;
- 3) процессы водно-теплового круговорота;
- 4) миграция веществ по почвенному профилю.

Размеры энергетических затрат в почвообразовании можно определить по формуле В.Р. Волобуева $Q = R * e^{-1/mKn}$. Затраты энергии в биогеоценозе на почвообразование (Q) зависят от радиационного баланса R, величины относительного увлажнения Kn и биологической активности биогеоценоза m. Величина m безразмерна и отражает биологическую активность биогеоценоза. Так, при $Kn = 1$, этот показатель составляет 2,13 и отражает различия в характере растительного покрова. Но КПД трансформации энергии организмами различен и составляет в среднем около 0,1%, максимум до 10% у некоторых водорослей, поэтому автор использует экспериментальные методы определения количества энергии, аккумулированной в растительном веществе, микробной массе почвы и гумусе методом калориметрии.

Высокая продуктивность почв связана с энергетически обогащенными компонентами – органическим веществом и гумусом, поэтому оценка энергии почвенного плодородия должна быть основана на энергетической оценке почвенного гумуса. Энергетическая способность гумуса может служить основой для определения скорости его превращения под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов. И.В. Тюрин сопоставил теплоту сгорания различных органических соединений с количеством кислорода, необходимого для их полного окисления, и пришел к выводу, что результаты определения окисляемости могут быть использованы для характеристики гумуса в целом или его отдельных фракций. Это утверждение легло в основу нового направления в изучении органического вещества почв. В основе всех этих расчетов лежит калориметрический метод определения энергии вещества по теплоте сгорания или опреде-

ление изменения стандартной энергии (энергия Гиббса), или ее расчет по данным элементного состава.

Существующие методы определения энергии органических соединений основаны на абиотических процессах окисления органических веществ и не учитывают особенности трансформации энергии в биологических системах.

Почвенное плодородие, реализуемое в почвенной продуктивности, – это явление, связанное с жизнедеятельностью живых систем, как растений, так и микроорганизмов. Поэтому оценить энергию, аккумулированную в почвенном гумусе целесообразно с учетом биологического фактора.

Энергетика биологических систем характеризуется двумя чертами: наличием элементов многообразия, с одной стороны, и элементами унификации – с другой.

Унификация заключается в том, что непосредственным источником энергии, обеспечивающим все жизненные функции биологических систем, является универсальное вещество – аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) Универсальной формой энергии этого вещества является энергия макроэргических фосфатных связей. Именно в энергию фосфатных связей АТФ трансформируется и энергия квантов света, поступающая с солнечными лучами, и энергия, освобождающаяся при окислительных процессах, составляющих дыхание.

В процессе биологического окисления идет высвобождение солнечной энергии за счет передачи восстанавливающих эквивалентов – атомов водорода или электронов от донора к акцептору. У аэробов акцептором служит кислород, донорами для большинства организмов – органические вещества.

За исключением фотосинтезирующих растений, органические вещества – источник энергии для большинства биологических организмов, в том числе и для почвенных микроорганизмов, кроме фотосинтезирующих бактерий и хемотрофов.

Процесс дыхания обеспечивает наиболее полное извлечение энергии из органических субстратов. Цепь дыхания состоит из большого числа переносчи-

ков электронов, что обеспечивает постепенное выделение свободной энергии и преобразование ее в «энергетическую валюту» клеток – АТФ.

Изменение стандартной свободной энергии органических молекул при их окислении до конечных продуктов – это показатель энергетической деградации в пищевой цепи, а величина биоэнергетического потенциала (БЭП) – КПД органической молекулы в «биологическом двигателе» живой системы.

БЭП для органического вещества (ОВ) почвы раскрывает пищевую энергетическую ценность ОВ для почвенных микроорганизмов в процессе гумусообразования и может служить критерием биологической активности вносимых в почву органических удобрений. БЭП органического субстрата используемого для восстановления гумусового запаса почв определяет количество «полезной» энергии, усваиваемой почвенными микроорганизмами в процессе трансформации органического субстрата. Именно биоэнергетический потенциал гуминовых веществ почвы определяет энергию почвенного гумуса и ее трансформацию в энергию почвенного плодородия. Биоэнергетический потенциал почвенного гумуса и позволяет количественно определить энергию почвенного плодородия.

Наибольшая биологическая энергия аккумулируется в гуминовых кислотах (ГК) черноземов (7,6 мДж/Моль), ниже у красноземов. (Орлов, 1974). Высокая энергия ГК черноземов связана с высоким содержанием в них углерода, что способствует дополнительному привлечению водорода из воды для процесса аэробного фосфорилирования, тем более что содержание водорода в ГК черноземов низкое.

Биологическим топливом является водород и пониженное содержание водорода в ГК черноземов, очевидно, является следствием оптимальных условий черноземной зоны для активизации почвенной микробиоты в процессах разложения первичного органического вещества. Различия в количественном элементном составе ГК определяют различия в их массе, ГК черноземов обладают большей массой, что снижает удельную биологическую энергию ГК черноземов на единицу массы.

Максимальный биоэнергетический потенциал гуминовых кислот черноземов определяет максимальное содержание в них гумуса за счет того, что максимально активизируют жизнедеятельность почвенной микрофлоры, влияющей на процесс гумусообразования. Фульвокислоты (ФК), в целом, обладают меньшим биоэнергетическим потенциалом (ср. значение 5,256 мДж/Моль), чем гуминовые кислоты (ср. значение 7,196 мДж/Моль). Очевидно, чем больше энергии запасается в гуминовых кислотах, тем меньше остается на фульвокислоты, что влияет на формирование гумусового запаса почв. Усиление аккумуляции энергии в фульвокислотах способствует формированию гумуса более фульватного типа, что характерно для дерново-подзолистых почв и красноземов, и наоборот, повышение энергии гуминовых кислот и снижение энергии фульвокислот способствует формированию более гуматного типа гумуса, как в черноземах.

Если величина биоэнергетического потенциала влияет на формирование почвенного гумуса, ее следует учитывать при ликвидации деградационных процессов в почве, особенно тех, которые связаны со снижением гумусового запаса.

При оценке уровня деградации почвы в результате снижении гумусового запаса необходимо учитывать не только общее количество утерянного гумуса, но и количество энергии, утраченную данным типом почвы. Поскольку гуминовые кислоты черноземов обладают большей энергией, чем дерново-подзолистые почвы, потеря равного количества гумуса приводит к различным потерям буферной энергии. Возможно, в этом состоит одна из причин более высокого уровня деградации черноземов в настоящее время (Хохлова О.Б., 2006).

Для энергетической оценки уровня деградации почвы и расчета необходимого количества дополнительной энергии, вносимой в почву с органическими материалами, целесообразно учитывать энергию лабильной части гумуса, наиболее легко теряемую в результате деградационных процессов. Поэтому при энергетической оценке гумуса почв следует учитывать биоэнергетический по-

тенциал именно этой части гумуса фракционируемых гуминовых веществ или гуминовых и фульвокислот.

Негидролизуемый остаток – гумин является наиболее термодинамически устойчивой частью гумуса, а гуминовые кислоты и фульвокислоты являются звеном в биохимических превращениях, ежегодно происходящих в почве при минерализации гумуса и гумификации растительных остатков при участии почвенной микрофлоры, и являются для нее пищевым энергетическим субстратом, энергетическая ценность которого характеризуется биоэнергетическим потенциалом. Наиболее энергоемкими являются (гуминовые вещества) ГВ черноземов, к дерново-подзолистым почвам и красноземам энергия этой части гумуса снижается. Следовательно, при деградации равного количества гумуса различные типы почв теряют разное количество энергии.

Таким образом, наибольшее количество энергии требуется для восстановления черноземов, наименьшее – для дерново-подзолистых почв, что следует учитывать при восстановлении малопродуктивных и деградированных почв.

Для энергетической оценки деградационных процессов в результате дегумификации Хохлова О.Б. предлагается использовать следующую методику.

1. Определяется тип почвы и содержание гумуса в почве (Сорг.,%) методом Тюрина.
2. Сравнивается фактическое содержание гумуса с оптимальным содержанием для различных типов почв.
3. Рассчитывается общее содержание гумуса с учетом 58% количества Сорг. в гумусе.
4. Рассчитываются запасы гумуса в 20 см слое почвы.
5. Рассчитывается биоэнергетический потенциал лабильной части гумуса.
6. Определяется количество необходимой дополнительной энергии для восстановления оптимального содержания гумуса.
7. Рассчитывается доза органических материалов, содержащая это количество энергии, с учетом коэффициента гумификации 0,2 для негумифицированного органического вещества и без учета данного коэффициента для гуми-

фицированного органического вещества торфа и сапропеля.

Энергетический подход целесообразно использовать при подборе дозы сапропеля, торфа или органических удобрений для восстановления гумусового запаса в почве. Рассчитав предложенным методом, количество энергии, которое почва утратила в результате деградиционных процессов, можно определить дозу внесения органических удобрений, необходимых для восстановления природного энергетического потенциала почвы.

Биоэнергетический потенциал органических веществ в 1 т урожая, образованных в процессе фотосинтеза составляет 57,3 кДж/г, а с учетом зольности – 54,5 кДж/г. В.Р. Волобуев при расчете энергии почвообразования указывает, что «относительные размеры затрат энергии в процессе почвообразования на суммарное испарение, биологические процессы и разложение минералов можно представить в соотношении 100 : 1 : 0,01. Расчет биоэнергетического потенциала биологической продукции в биоценозе составляет 0,01 от общей энергии почвообразования. Таким образом, для оценки потенциального почвенного плодородия с целью его повышения для почв сельскохозяйственного назначения целесообразно использовать энергетические характеристики почвенного гумуса. Один из способов энергетической оценки органического вещества растений, почвы и вносимых органических удобрений является метод расчета биоэнергетического потенциала (БЭП), основанный на стехиометрии аэробного метаболизма клетки за счет энергии органического субстрата.

В целом формирование буферной энергии почвы и активизация энергии фотосинтеза под воздействием вносимой энергии органических материалов определяют увеличение энергии почвенного плодородия.

ТЕМА 14

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

В тропических и субтропических странах проблема, связанная с потерей плодородия почв вследствие эрозии, встает значительно острее, чем во многих развитых капиталистических странах. Это вызвано ростом народонаселения, как следствие, перегрузкой пастбищ, вырубкой лесов, использованием склонов в качестве пахотных угодий. Эрозия по своей природе, интенсивности, полноте комплектности и осложнениями загрязнения почв оказывает многочисленные негативные последствия на почвы и окружающую среду. Эрозия почв приводит к заиливанию рек, озер, водонакопительных бассейнов, шоссеиных дорог, площадей в нижнем течении рек, энтрофизации озер; исчезновению природной и культурной растительности; разрушению природного ландшафта до пустынь. Следует отметить, что между процессами эрозии и свойствами почвы, особенно физическими, существует тесная зависимость. Поэтому весьма важно борьбу с эрозией почв строго увязывать с характером почв и всем, ходом почвообразования. Борьбу с эрозией следует проводить на всем водосборе – не только на склонах, но и на водоразделах. Защита почв от эрозии заключается в предупреждении этих явлений, ликвидации очагов и прекращении процессов их развития, увеличении плодородия эродированных и дефлированных почв. Суть противоэрозионных мероприятий состоит в уменьшении поверхностного стока, сохранении на поле максимального количества атмосферных осадков, переводе поверхностного стока во внутрипочвенный, в усилении противоэрозионной стойкости почв. Противодефляционные мероприятия направлены на уменьшение скорости ветра и увеличение противодефляционной стойкости почвы. Условно все виды противоэрозионных и противодефляционных мероприятий делятся на четыре группы: организационно-хозяйственные, агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические.

Организационно-хозяйственные мероприятия состоят в научно обоснованном размещении сельскохозяйственных угодий и лесных насаждений, населенных пунктов, при которых исключается эрозия. Они охватывают территории, подверженные эрозии и водосборные площади, на которых формируется сток. На водосборе выделяют следующие три зоны (А.С. Козменко):

1) гидрографическая зона, включающая участки с уклоном более 0,15 (концентрация потоков воды, смыв и размыв). Эти территории отводят под лесопосадки;

2) присетевая зона с уклоном участков 0,15-0,05 (большие скорости движения воды, отдельные потоки воды, почва энергично смывается). Земельные массивы присетевой зоны залужаются и используются под культурные пастбища и выпасы;

3) водораздельная зона с уклоном участков меньше 0,05 (процессов смыва обычно нет, масса воды накапливается), используется под пашню. Противоэрозионная организация территории включает следующие элементы землеустройства: проектирование сельскохозяйственных угодий с учетом рельефа почв и других природных условий; проведение границ полей в соответствии с элементами рельефа; правильное размещение сооружений (дороги, хозяйственные постройки, гидромелиоративные сооружения, лесопосадки и др.), обеспечивающие защиту почв от эрозии.

Внедрение научно обоснованных севооборотов, способствует увеличению противоэрозионной стойкости почв при возделывания культур. Организация территории в большой мере определяет эффективность применения других звеньев противоэрозионной системы земледелия, создает организационную основу объединения всех элементов почвозащитной системы земледелия.

Не менее важная задача противоэрозионной организации территории — создание оптимального водного режима для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. В районах, достаточно обеспеченных влагой, необходимо регулировать поверхностный сток с отводом воды в водонакопительные устройства или гидрографическую сеть. В засушливых районах с по-

мощью противоэрозионной защиты предупреждается возникновение склонового стока.

Особое значение для склоновых земель имеет контурная организация территории, которая дает возможность наиболее полно и рационально использовать природные условия (почвенные, микроклиматические, гидрологические). Организация использования пашни, как основного земельного угодья, должна основываться на ландшафтной основе, экономической оценке земель, включая внутривладельческую оценку.

Агротехнические противоэрозионные мероприятия. К агротехническим мероприятиям относятся приемы, связанные с задержкой поверхностного стока: эрозионные севообороты, выравнивание поверхности почвы, улучшение структуры и фильтрационных свойств почвы, увеличение шероховатости поверхности, затрудняющей поверхностный сток и др.

Правильная организация системы противоэрозионных севооборотов на склонах той или иной крутизны связана с тем, что различные культуры севооборота по-разному защищают почвы от эрозии. Склоны с крутизной 8-9° используют под обычные севообороты. На склонах крутизной 9-15° организуют специальные почвозащитные севообороты. Склоны 16-18° исключают из интенсивного земледелия. Почвы, непригодные для ведения сельского хозяйства, используют под лесные культуры.

К важным противоэрозионным приемам обработки почв относятся: контурная обработка почв, пахота поперек склона, глубокая вспашка или вспашка с почвоуглублением, плоскорезная обработка почв с сохранением стерни, комбинированная отвально-безотвальная вспашка, вспашка зяби и подъем пара с одновременным формированием на поле борозд, валиков, лунок, прерывистых борозд; создание на зяби и на парах в эрозионно опасные периоды противоэрозионного микро рельефа; полосное глубокое рыхление, щелевание, кротование почв и др. Эти приемы уменьшают или устраняют сток ливневых и талых вод, ускоряют процесс поглощения воды почвой, уменьшают поверхностный сток и увеличивают водопроницаемость почвы.

Поперечная обработка почвы на склонах является основным агротехническим противоэрозионным мероприятием, на фоне которого должны проводиться и другие агротехнические меры борьбы с эрозией почвы. По мере увеличения глубины вспашки уменьшается поверхностный сток и смыв почвы. Однако на склонах с эродированными почвами глубокая вспашка может привести к выворачиванию на поверхность нижних малоплодородных горизонтов, поэтому здесь более целесообразно применять вспашку с почвоуглублением. При вспашке с почвоуглублением до 35-40 см по сравнению с обычной вспашкой на 20-22 см смыв почвы уменьшается на 30%. Более значительное уменьшение смыва почвы отмечалось при проведении безотвальной глубокой вспашки.

На склоновых землях положительные результаты получены на участках, где применялось глубокое (на 60 см) полосное рыхление. Глубокое рыхление почвы повышало водопроницаемость в 2-3 раза, сдерживая склоновый сток осадков. Эффективным приемом, уменьшающим сток, являются засеваемые травами буферные полосы. Расстояния между ними в зависимости от крутизны и длины склона могут изменяться от 10 до 100 м и более. Ширина буферных полос в зависимости от интенсивности процессов эрозии и хозяйственной целесообразности может изменяться от 1-2 до 10 м и более. Смыв почвы при этом сокращается до 4-6 раз.

В холмистой местности важным противоэрозионным мероприятием является контурная вспашка с горизонтальным направлением, при которой каждая борозда на всем протяжении находится на одном уровне (рис. 14.1)

На полях, имеющих микрорельеф и расположенных на склонах, в качестве противоэрозионного мероприятия проводят выравнивание поверхности почвы. Этот прием способствует более равномерному распределению поверхностных вод и устраняет очаги водной эрозии.

Большое положительное воздействие на почвы оказывают такие приемы, как щелевание и кротование. Щелевание – нарезка щелей глубиной 60-70 см через 70-180 см путем установки на раме плуга ножей-щелерезов. Кротова-

ние — вспашка плугом и кротователем, которые на глубине 30-40 см создают кротовины диаметром 6-8 см через 70-140 см.

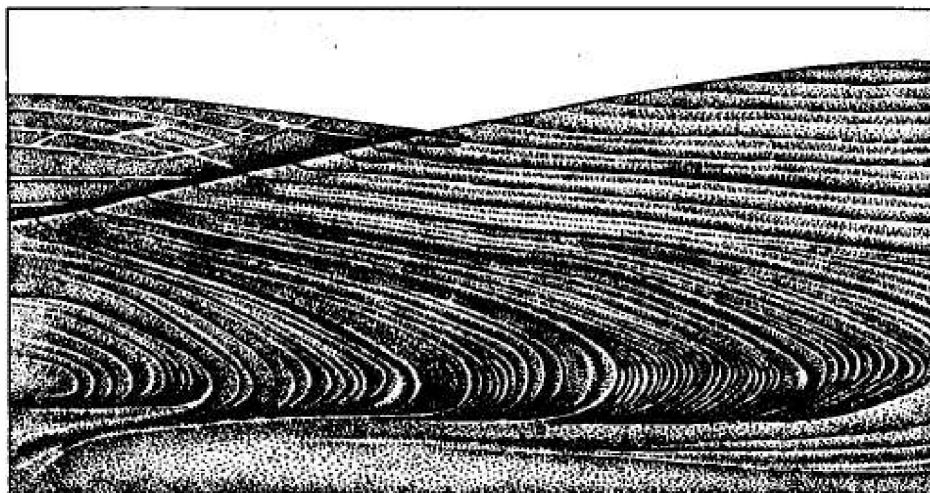


Рис. 14.1. Контурная обработка почв склона

Развитие эрозии почв в значительной степени затормаживается при увеличении шероховатости их поверхности. Чтобы придать почвам шероховатость, зяблевую пахоту не боронуют, на полях оставляют удлиненную стерню, на наиболее эрозионно опасных участках поверхность почвы мульчируют, используя для этого солому или измельченные стебли пропашных культур.

Большое противоэрозионное значение имеет прерывистое бороздование - напашка борозд однолемешным плугом с последующим сооружением перемычек. Глубина борозд 20-25 см, расстояние между ними 5-10 м, а между перемычками 1-3 м. Чем ниже по склону и чем круче склон, тем чаще делают борозды и перемычки в бороздах.

В систему агротехнических мероприятий по защите почв от дефляции входят почвозащитные севообороты, полосное размещение сельскохозяйственных культур, создание кулис, противодефляционное мульчирование, почвозащитная бесплужная обработка земель, химические средства борьбы с дефляцией (внесение мелиорантов). При размещении противодефляционных средств большее внимание отводится направлению ветра, а не рельефу, как при борьбе с водной эрозией.

Агролесомелиоративные мероприятия представляют собой способ многостороннего воздействия на почвы и микроклимат, осуществляемый главным образом путем лесопосадок.

Защитные лесные полосы составляют неотъемлемую часть агротехнического ландшафта. Они улучшают микроклимат, предохраняют почву от эрозии и дефляции, сохраняют почвенную влагу в засушливых районах, служат преградой холодным ветрам вокруг садов и виноградников, защищают посевы от суховеев, повышают продуктивность пастбищ и сенокосных угодий. В зоне действия лесных полос испарение влаги с поверхности почв уменьшается на 40%, а продуктивность транспирации возрастает на 25-30% по сравнению с участками, удаленными от лесополос. Лесные полосы на прилегающих полях в зоне 20-кратной высоты их могут увеличить запас влаги в почве на 40-50 мм, то есть сельскохозяйственные растения при наличии лесополос оказываются значительно лучше обеспеченными влагой.

Благоприятно влияя на гидротермический режим приземного слоя воздуха и почвы и всю экологическую обстановку, лесополосы способствуют повышению урожайности растений, которая на полях с лесополосами возрастает не менее чем на 20%.

Эффективность защиты лесными насаждениями почв от эрозии и дефляции и их воздействие на окружающую среду во многом зависит от того, насколько правильно выбрано их местоположение, определены расстояния между лесополосами, спроектировано их строение, подобран видовой состав. Кроме того, местоположение лесных насаждений определяет их назначение. В зависимости от характера влияния на гидрологический и ветровой режим выделяют следующие лесомелиоративные насаждения:

- полезащитные лесные полосы, организуемые для защиты почв от ветра и улучшения микроклимата полевых угодий;
- оврагоукрепительные лесные полосы, представляющие собой систему плотных древесных и кустарниковых насаждений, создаваемых для закрепления вершин и склонов оврагов;

– почвозащитные насаждения, которые организуют на сильноэродированных, изрезанных мелкими оврагами и промоинами склонах со смытыми почвами; их задача заключается в прекращении эрозии на наиболее опасных участках водосборов;

– стокорегулирующие (водопоглощающие) лесопосадки, устраиваемые поперек длинных склонов и предназначенные для ослабления эрозионных процессов и задержки стока;

– приводораздельные лесополосы, устраиваемые на ровных частях водосборов для равномерного распределения снега и уменьшения эрозионной энергии поверхностных вод, поступающих на склоны.

Лесопосадки осуществляют сплошными массивами и полосами. Полезащитные лесные полосы закладывают шириной от 10 до 30 м, а государственные – до 100 м из разных древесных пород. Широкая лесная полоса, правильно расположенная на склоне, в состоянии перехватить весь поверхностный сток с вышележащих полевых межполосных пространств. При длине склона 400 м ширина полосы составляет 20 м, а при длине склона более 600 м – 60 м. В местах, мало подверженных эрозии, основные продольные водорегулирующие полосы шириной около 20 м располагаются поперек склона. Прибалочные полосы должны быть шириной не свыше 50 м.

На изрезанных промоинами, оврагами, балками, оползневыми участками и на участках, где почвы сильно смыты и непригодны для сельскохозяйственного освоения, необходимо создавать лесонасаждения, закреплять лесом откосы и дно оврагов. Водорегулирующие и приовражно-балочные полосы создают для облесения крутых склонов, берегов балок, откосов оврагов. Расстояния между лесными полосами на склонах устанавливают с учетом формы, крутизны, экспозиции, длины склонов и водопроницаемости почв. При крутизне 2-3° расстояние принимается равным 300-400 м, при 4-5° – 250-300 м, а при 6° и более – 150-250 м.

На крутых склонах (>0.05) расстояние между защитными лесными полосами можно определить по формуле А.С. Козменко:

$$B=a*N(1/N*a*i),$$

где a – коэффициент ветрового и снегового воздействия полосы на пологом склоне (от 15 до 25);

H – высота деревьев;

i – уклон склона.

Перпендикулярно продольным полосам закладывают и поперечные полосы через 1000-1500 м. Размещение лесопосадок увязывают с местоположением полей и дорожной сети.

Гидротехнические мероприятия по борьбе с эрозией включают работы по регулированию стока на водосборной площади крутых склонов, работы по укреплению существующих оврагов, устройству террас, строительству прудов и лиманов. Террасирование является наиболее эффективным приемом, обеспечивающим снижение скорости поверхностного стока, его задержание и предотвращение смыва почвенного слоя на склонах. Как прием борьбы с эрозией почв, террасирование насчитывает тысячелетнюю историю. Оно впервые зародилось в странах Азии и Африки и постепенно распространялось на другие континенты и во многие страны мира. С глубокой древности террасное земледелие применяется в Чили, Китае, Японии, Шри-Ланка, Йемене и других странах.

1). Строительство террас на склонах способствует прекращению эрозии почв. Терраса – это полоса склона между двумя соседними валиками.

Гребневые террасы с горизонтальным валом представляют собой систему валов, располагающихся параллельно горизонталям местности. Их применяют на пологих склонах с уклоном от 0,02 до 0,12, на легких, средне- и хорошо водопроницаемых почвах. Общая высота валов (h) составляет 0,3-0,6 м, глубина воды у вала (рабочая высота вала h_0) равна 0,2-0,5 м, заложение откоса вала 4-5, ширина вала в основании до 10 высот вала, падение местности от вала до вала 0,8-1,5 м. Подобный профиль вала является проходимым для сельскохозяйственных орудий и машин.

Насыпка вала может осуществляться различными механизмами или обычными напашными плугами при пахоте «всвал». Валики резко сокращают и даже полностью прекращают смыл почвы, увеличивают запасы влаги в метровом слое почвы на 20-80 мм и повышают урожай зерновых на 10-20%.

Ширину террасы определяют по формуле

$$l = h_0^2 / (2i \cdot \sigma \cdot A),$$

где l – ширина террасы в м;

h_0 – рабочая высота вала, м (максимальный слой воды у вала);

i – уклон склона;

σ – коэффициент поверхностного стока;

A – расчетный слой осадков, м.

Обычно противозерозионные сооружения проектируют на расчетную обеспеченность 10%, т.е. на такой ливень, который встречается раз в 10 лет.

При уклонах склона от 2 до 12% ширина террасы изменяется от 20 до 100 м, длина террасы – от 300 до 800 м и высота – от 0,75 до 1,5 м.

Гребневые террасы с наклонным валом применяются на тяжелых почвах, где плохо инфильтрует вода, и в районах с большим количеством осадков при уклоне склона 0,02-0,12. Чтобы избежать увеличения высоты вала или насыпки частых валов, а также возможного застаивания воды на террасе, вал строится под некоторым углом к горизонталям с уклоном не более 0,005. Для стока воды вдоль вала строится канава (рис. 14.2). Ширину и высоту террас с наклонным валом определяют с учетом уклона склона и гранулометрического состава почв (табл. 14.1).

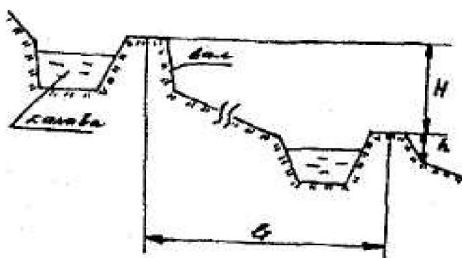


Рис. 14.2. Гребневые террасы с наклонным валом – поперечное сечение

Ширина и высота гребневых террас с наклонным валом
(В.В. Колпаков, И.П. Сухарев, 1981)

Уклон местности	Ширина террас		Высота террас, м	
	суглинок	супесь	суглинок	супесь
0,02	38	50	0,75	1,0
0,03	30	41	0,90	1,25
0,04	27	38	1,05	1,50
0,05	26	35	1,25	1,65
0,06	25	30	1,5	1,80
0,08	22	26	1,7	2,10
0,10	20	22	1,9	2,40
0,12	18	22	2,1	2,70

Ширина террасы при этом определяется по формуле:

$$l = V_{\text{ср}} * F / L * \sigma * P,$$

где $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения воды по канаве при стекании тонким слоем, м/с;

F – живое сечение канавы м²;

L – длина террасы (берется 400-800 м), м;

σ – коэффициент поверхностного стока;

P – интенсивность осадков, м/с.

Размеры вала-канавы принимают следующие: высота вала $h_b = 0,4-0,5$ м, ширина вала по основанию $b = 3-10$ м, показатель откоса $\varphi = 3-5$. Грунт для наклонных валов следует брать с низовой стороны вала, т.е. с верхней части террасы.

Ступенчатые террасы применяют на склонах с уклонами 0,12-0,25. При строительстве осуществляется уменьшение уклона полотна террасы путем срезки почвогрунта в верхней половине и насыпки его в нижней части ширины террасы. Благодаря этому на крутых склонах уклон террасы становится малым, не более 0,12, а иногда нулевым.

Ступенчатые террасы чаще всего устраивают наклонными в сторону общего склона, так как их строительство связано со срезкой почвы. У ступенча-

тых наклонных террас уклон не должен превышать 0,12, а горизонтальные ступенчатые террасы устраивают с нулевым уклоном полотна (рис. 14.3) С увеличением слоя срезки обнажаются менее плодородные слои почвы. Поэтому глубину срезки необходимо принимать с учетом мощности верхнего гумусового горизонта.

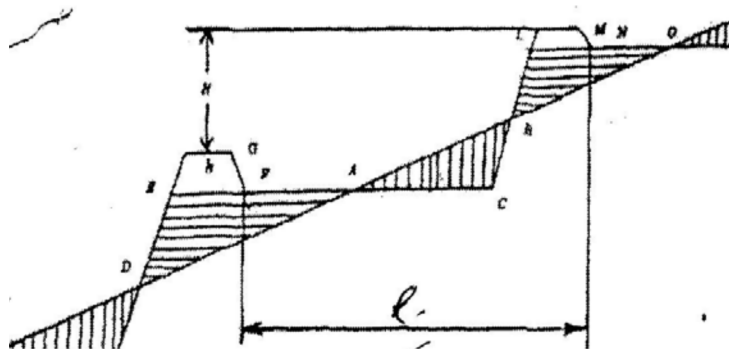


Рис.14.2. Ступенчатая горизонтальная терраса

Для задержания стока воды и уменьшения переувлажнения в конце полотна ступенчатых наклонных террас насыпают валик высотой не менее 0,3 м с заложением откосов от 1:0,2 до 1:0,6 и шириной по дну не менее 0,9 м.

Высота террасы, т.е. превышение гребня верхнего вала над гребнем нижнего вала $H_T = 1-1,8$ м, а иногда достигает 3 м; ширина террасы $l = 5-15$ м в зависимости от ее высоты и уклона местности. Чем больше высота и меньше уклон поверхности, тем больше ширина террасы. На ступенчатых горизонтальных террасах размеры валов принимаются меньше: высота вала – 0,15-0,30 м, а его ширина – 0,5-0,7 м, что обусловлено отсутствием стока внутри террас. Террасы с горизонтальным полотном встречаются реже, так как строительство их осуществляется труднее, чем наклонных, в то же время обработка почвы и уход за культурой на них легче, почвы увлажняются ровнее и значительно, чем на наклонных террасах.

В некоторых странах ступенчатые террасы представляют собой сооружения, состоящие из горизонтальных площадок, которые пересекают склоны в виде целой серии ступенчатых земляных площадок. Площадки разделены кру-

тыми, почти вертикальными откосами или подпорными стенками из камня или закреплённой растительностью земли. Террасы, поддерживаемые подпорными стенками узкие 3-7 м, и эрозия здесь редко бывает значительной.

В некоторых районах Пуэрто-Рико и Калифорнии сооружают ступенчатые террасы с земляными откосами, укрепленными травой. Ряды для посадок цитрусовых размещают по линиям уклонов оросительных каналов. Вдоль этих линий делается небольшой гребень с двумя или более бороздами. На гребне производится посадка фруктовых деревьев. Воду для орошения пропускают вдоль верхней стороны гребня.

Для сохранения почвы устраивают ступенчатые террасы с уклоном до 1% в обратную сторону склона или террасы с бороздами для аккумуляции стока.

Ступенчатые террасы используют для выращивания ценных технических и овощных культур, винограда и плодовых насаждений. В субтропических и тропических районах на них также культивируют чай, цитрусовые и горный рис.

Площадь обрабатываемой части ступенчатой террасы уменьшается по мере увеличения крутизны склона. Например, там, где имеется склон в 30%, площадка или обрабатываемые участки будут иметь 2,6 м ширины и площадь их составит 64% всей поверхности террасы, а на долю откосов приходится 30%. На крутых склонах (20-40 %) на Карибских островах используются также террасы с валом и канавой площадью поперечного сечения 0,13-0,14 м². Уклон канавы принимается от 0,5 до 1% с максимальной длиной 180 м. Перед канавой устраиваются защитные полосы из растений или древесных насаждений.

Траншейные террасы применяют на больших уклонах (>0,25) с малой мощностью почвенного слоя. Размер траншей (глубина и ширина) принимается с учетом особенностей будущей культуры. При отрывке верхний гумусовый слой почвы (1) укладывается на верховой стороне траншей, а подпочвенный слой (2) – на низовую бровку, формируя из него водоудерживающий вал.

В период посадки насаждений сначала траншеей засыпают гумусовым слоем почвы с верховой стороны, а затем для полного заполнения траншей добавляют почвенный слой (3), взятый с полос между траншеями (рис. 14.4).

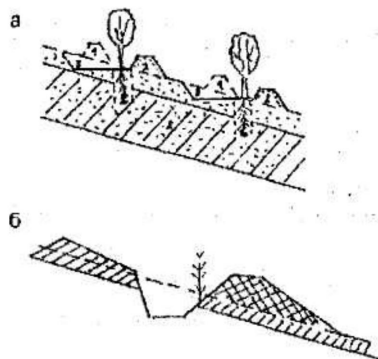


Рис. 14.4. Траншейные террасы

Ширина террасы составляет 5-9 м и, как правило, равна расстоянию между рядами насаждений.

Образующийся на площадке при выпадении осадков сток будет поступать в траншею и тем самым способствовать лучшему увлажнению почвы. Полосы между валами необходимо занимать покровными культурами, чтобы предохранить почву от размыва и увеличить мощность растительного слоя. Траншейные террасы используют для выращивания чая, виноградников, цитрусовых, плодовых и других древесных и кустарниковых насаждений.

Борьба с оврагами. На малых водосборах важным мероприятием в борьбе с оврагообразованием является комплекс агротехнических и лесомелиоративных приемов. Однако на больших водосборах со значительным стоком требуется проводить еще гидротехнические приемы, с помощью которых достигается:

- устранение концентрации и задержание стока на склонах, прилегающих к оврагу, с последующей инфильтрацией в грунт;
- сбор воды с прилегающего водосбора и безопасный отвод ее в овраг;
- закрепление дна и откосов оврага.

Для устранения концентрации поверхностного стока в ложбинах, разъемных бороздах, межах у опушек лесных полос устраиваются распылители стока в виде земляных дамб, плетневых или из другого материала запруд (перемычек).

Распылители, расположенные поперек ложбины или борозды, задерживают и отводят часть притекающей воды на прилегающие боковые склоны. Высота дамб и перемычек зависит от уклона дна и глубины понижения и составляет в самом глубоком месте на менее 0,4-0,5 м. Число распылителей зависит от длины ложбины и расстояния между ними, которое может быть 50-100 м. Расстояние зависит от высоты перемычек и уклона вдоль понижения, который должен быть не более 0,01-0,02.

Для отвода воды с водосборной площади выше затеррасированного склона или для защиты вершины незакрепленного оврага рекомендуют устраивать водозадерживающие канавы с валом. Вода с их помощью направляется в задернованные балки или специальные сбросные сооружения. Их назначение – отвести воду от площадей, расположенных выше затеррасированных участков, или водосливов и других сооружений (рис.14.5). Нижние концы водоотводных валов подводят к водоприемнику – специальному сооружению – или задернованной ложбине.

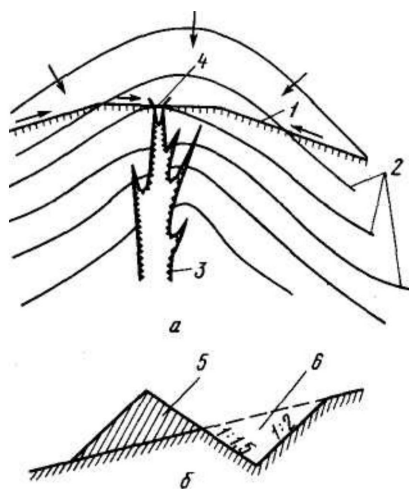


Рис 14.5. Водоотводные валы:

a – положение водоотводного вала на местности;

б – поперечный разрез водоотводного вала.

1 – вал, 2 – горизонтали, 3 – овраг, 4 – водосброс, 5 – вал, 6 – канава

Как показывает опыт различных стран мира, все водоотводные каналы-валы желательно выполнять проходимого для машин профиля, засеять и использовать их как сенокосы.

Особо большое значение для укрепления берегов и дна оврагов имеет создание овражно-балочных лесонасаждений в виде сплошных массивов на склонах или в виде приовражных полос.

ТЕМА 15

БОРЬБА С ЗАСОЛЕНИЕМ И ОСОЛОНЦЕВАНИЕМ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ. ПРОМЫВКИ И ИХ РАСЧЕТ

Для предотвращения засоления, а также для борьбы с существующим засолением необходимо правильно организовать эксплуатацию орошаемой территории, предусмотреть мелиоративные мероприятия и последовательность их выполнения. Система мероприятий по улучшению земель определяется водным и солевым балансом и водно-солевым режимом почвенно-грунтовой толщи. Решающую роль в процессе соленакопления и рассоления имеет соотношение расхода воды на испарение и транспирацию; а также условия подземного оттока и притока грунтовых вод. При хорошем оттоке даже близко расположенные от поверхности грунтовые воды опреснены и засоление почв или отсутствует или слабо проявляется. В условиях же затруднительного оттока минерализованных грунтовых вод засоление почв тем сильнее, чем ближе они залегают и чем выше их минерализация. В этих случаях главную роль играет расход грунтовых вод на испарение и транспирацию.

Орошение вызывает коренные изменения водного и солевого баланса и режима грунтовых вод. Поэтому на вновь осваиваемых землях требуется предотвратить подъем грунтовых вод и удалить соли из почвенно-грунтовой толщи, а на староорошаемых землях – улучшить водный баланс, понижая уровень грунтовых вод и всемерно уменьшая потери воды на испарение. Чтобы улучшить водный баланс, необходимо уменьшить водозабор в ирригационные системы до оптимальных размеров, оптимизировать режим орошения и, в первую очередь, поливные нормы, не допуская переувлажнения, внедрить плановое водопользование, уменьшить потери воды из оросительных каналов на фильтрацию, провести армирование и сокращение протяженности ирригационной сети.

Удаление избыточного количества солей из почвы достигается применением различных методов их мелиорации. К числу основных методов мелиора-

ции засоленных почв можно отнести следующие: механический, агротехнический, биологический, химический и гидротехнический.

Механический метод основан на механическом удалении скоплений солей с поверхности почвы. Снимается и верхний слой почвы, если содержание токсичных солей достигает очень больших размеров.

Агротехнический метод. Сюда относятся прежде всего планировка, глубокая вспашка и глубокое подпочвенное рыхление. Эти виды мелиоративной обработки применяются на слоистых и плотных почвах. Особенно важно использовать различные виды обработок при мелиорации солонцов, где гипсовые горизонты залегают на небольшой глубине. Это активизирует использование внутрисочвенных соединений кальция для самомелиорации.

В настоящее время в основном применяют две обработки: трехъярусную и плантажную. Трехъярусная вспашка сохраняет на месте верхний перегнойный горизонт почвы и перемешивает нижние слои. Глубокая плантажная вспашка перемешивает гипсовый и подпахотный слои на поверхность. Солонцовые горизонты почвы дробятся и перемещаются вниз, одновременно обогащаясь растворимым кальцием.

Глубокой мелиоративной обработкой достигается улучшение водно-физических свойств верхнего слоя почвы. Обработка изменяет плотность и водопроницаемость солонцового горизонта, улучшает водный режим и тем самым создает благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур. Расширяется использование глубокого подпочвенного рыхления. Интервал рыхления подбирается так, чтобы не происходило сильного уплотнения вспушенной почвы при соседних проходах трактора. При сплошном разрыхлении полосы должны смыкаться на глубине 20-30 см.

Биологический метод включает введение в почву живого или мертвого органического вещества, что улучшает проницаемость почвы в результате выделения углекислоты при дыхании растений и разложении их остатков. Кроме того, затенение почвы растениями ведет к уменьшению испарения влаги с поверхности, а следовательно, менее быстрому засолению поверхностных гори-

зонтов при подъеме влаги. Наличие растений улучшает структуру почвы за счет накопления органического вещества, понижает грунтовые воды и уменьшает вынос солей. Ведущей культурой-мелиорантом является люцерна, а также солевыносливые культуры-освоители (подсолнечник, донник и др.).

Мощным средством борьбы с засолением являются лесные насаждения. Для этого производится закладка полевых защитных лесных полос и многорядная обсадка каналов древесными породами. Лесные полосы снижают величину потерь почвенной влаги на испарение. При больших фильтрационных потерях из каналов древесные породы перехватывают фильтрующиеся воды и, испаряя их через крону, уменьшают питание грунтовых вод на прилегающих полях, предотвращая быстрый подъем и возникновение процессов засоления.

Гидротехнический метод является основным и наиболее эффективным приемом борьбы с засолением почв. Он включает помывку и дренаж с созданием в почвенном профиле нисходящего тока оросительной воды, обеспечивающего вымыв легкорастворимых солей из почвы. Засоленные профильтровавшиеся воды отводятся за пределы массива посредством дренажной системы.

При промывке происходит удаление избыточного количества токсичных солей, т.е. растворение водой содержащихся в активном слое почвы и вымывание их из этого слоя в нижележащие горизонты – при глубоком залегании грунтовых вод или же в дрены и водоприемники – при близком залегании грунтовых вод и их оттоке. Промывку можно применять на почвах с содержанием солей более 0,25% или более 0,02-0,03% хлора в метровом слое, чтобы к периоду посева его содержание не превышало 0,01%. Промывку, как основной мелиоративный прием, сочетают с агротехническими, гидротехническими и организационными мероприятиями, направленными на восстановление плодородия почв и не допускающими вторичного засоления.

Вымыв солей из почвы является сложным физико-химическим процессом. Для промывки требуется большое количество воды, которое нужно пропустить через почву. Величина промывной нормы должна быть точно определенной; занижение ее приводит к недопромывке почв, а превышение – к из-

лишней трате пресных вод, обеднению почв из-за вымыва вместе с токсичными солями питательных веществ.

Соли в почве находятся в различных состояниях в зависимости от их количества и свойств, влажности почвы и структуры. Часть солей находится в растворе, где они диссоциируют на ионы с различной степенью подвижности. Часть ионов адсорбирована твердой фазой почвы. Некоторое их количество находится в тупиковых порах, образующих застойные зоны. Нерастворимые соли образуют скопления кристаллов или обволакивают почвенные части тонкой пленкой. Движение солей в почве может происходить при передвижении почвенной влаги.

Солеотдача – вымыв солей из почвы нисходящими фильтрационными водами и последовательность выноса солей – процесс очень сложный и зависит от гранулометрического состава почв, характера изменений минерализации промывных вод по мере их просачивания, обменных реакций в промывной толще, особенностей изменения физико-химических и водно-физических свойств почв в процессе промывки. Особенно важно знать состав солей в почвах – тип засоления.

П.С. Панин считает, что в процессе промывки в связи с изменением концентрации почвенного раствора нарушается солевое равновесие, как в самом почвенном растворе, так и между катионами почвенного раствора и поглощенными катионами поглощающего комплекса. Коренное изменение состава поглощенных катионов отражается на водно-физических и физико-механических свойствах почв, в растворе появляются новые вторичные соли.

Промывку почв осуществляют по бороздам, полосам и чекам. Различают капитальные и эксплуатационные промывки. Капитальными называются промывки, предназначенные для освоения новых, а также переложных и залежных сильнозасоленных земель при норме более 5 тыс. м³/га. Они осуществляются в течение длительного времени и обеспечивают рассоление почвогрунтов на глубину не менее 1-2 м.

Эксплуатационные промывки проводятся на землях, входящих в севооборот с целью ликвидации реставрации ежегодного засоления, а также снижения общего содержания солей при значительном их содержании. Проводятся они ежегодно или периодически, в зависимости от интенсивности сезонного соленакопления, без вывода земель из сельскохозяйственного оборота.

Наиболее распространенным способом промывки является затопление по чекам с прерывистой и непрерывной подачей воды. В зависимости от качества спланированности поверхности промываемого участка, а также продольного и поперечного уклонов чеки могут приниматься от 0,05 до 5 га. Высота ограждающего валика при этой изменяется от 0,3 до 0,8 м.

Промывная вода поступает в каждый чек самостоятельно с большим расходом (25-50 л/с). Чек заполняется водой за короткое время, и при стоянии вода постепенно проходит через корнеобитаемый слой почвы, растворяет соли и вместе с ней уносит их за пределы этого слоя. Технология промывки засоленных земель изменяется в зависимости от степени засоления почв, их свойств.

Кратковременные сплошные промывки. Этот способ является самым древним и до сего времени самым распространенным. Площадь, подлежащую промывке, с помощью взаимно пересекающихся земляных валиков разделяют на прямоугольные промывные делянки (чеки) в зависимости от уклонов и рельефа поверхности. Для соседних рядов делянок нарезаются временные оросители. Из них производится сплошное затопление поверхности каждой делянки слоем воды 20-30 см (объем воды порядка 2,5-3,5 тыс. м³/га). Слабозасоленные почвы промывают однократным затоплением. На сильнозасоленных землях затраты воды доводят до 6-10 тыс. м³/га и более.

Сократить непроизводительные потери оросительной воды при промывках позволяет полосовое затопление, когда междреннее расстояние делят валиками на три полосы: среднюю – с малой скоростью фильтрации и две придренные с повышенной скоростью. После подготовки участка промывают среднюю полосу, не затопляя придренные. Затем затопляют придренные полосы.

Длительные сплошные промывки чаще всего применяют при капитальных промывках сильнозасоленных земель. После затопления всех чеков подается такой объем воды в каждый из них, который соответствует количеству воды, расходуемому на фильтрацию и испарение. Поверхность чека длительное время находится в затопленном состоянии. Длительные сплошные промывки целесообразны в том случае, когда верхний слой почвы подстилают пески, вскрытые постоянными дренами. В этом случае фильтрация и рассоление по ширине междуренья более равномерные.

Промывки с одновременным возделыванием риса. Часто длительные сплошные промывки проводят в вегетационный период, совмещая их с возделыванием риса на всей промывной площади. Длительность промывки в этом случае определяется продолжительностью вегетационного периода (3-4 месяца), а общее количество расходуемой воды складывается из оросительной нормы риса и фактической промывной нормы. Равномерное и постоянное затопление при выращивании риса повышает качество промывки, возрастает равномерность рассоления как по площади, так и по глубине. Урожай риса, полученный в период капитальной промывки, окупает затраты на мелиорацию.

Сроки промывки. Вымыв солей из почвы лучше происходит при глубоком залегании грунтовых вод, небольшом испарении влаги из почвы и относительно высокой температуре почвы. В пустынной зоне очень эффективно сочетание осенне-зимней промывки по зяблевой вспашке с весенней допромывкой, особенно на сильнозасоленных тяжелых почвах.

Весенняя промывка более эффективна, чем осенне-зимняя на хорошо водопроницаемых почвах.

Нормы промывки. Величина промывной нормы зависит от многих факторов: исходной степени засоления, химического состава солей, гранулометрического состава и свойств почв, сроков промывки, дренированности территории и способа агротехнической подготовки почвы к промывке. Общая промывная норма на сильно засоленных почвах и солончаках может достигать 15-30 тыс. м³/га, а на слабозасоленных снижается до 2-3,5 тыс. м³/га. Объем оросительной

воды снижается при промывке легких хорошо водопроницаемых почв, обеспечивавших отток промывных вод естественным или искусственным дренажем. В этом случае происходит быстрый вымыв солей из почвы.

При расчете общей промывной нормы для метрового слоя почвы при капитальной промывке обычно используют формулу В.Р. Волобуева:

$$N = \alpha * \lg \left(\frac{S_{uc}}{S_{дон}} \right)$$

где N – промывная норма в м слоя воды;

α – коэффициент солеотдачи, зависящий от гранулометрического состава почвы и типа засоления, который изменяется от 0,62 до 3,30.

При расчетах промывной нормы широкое распространение получила формула А.Н. Костякова и др.

$$M = 100H\alpha \left\{ (\beta_0 - \beta) + \frac{S_1 - S_2}{K} \right\}$$

где H – глубина промываемого слоя почвы;

α – плотность сложения почвы;

β_0 – предельная полевая влагоемкость почвы в % по массе;

β – фактическая влажность почвы в момент помывки в % по массе;

S_1 и S_2 – содержание подлежащих вымыву солей в % по массе – исходное до промывки (S_1) и конечное после промывки (S_2);

K – коэффициент вытеснения или вымыва солей в т на м³ воды; он зависит от физических свойств почвы, глубины грунтовых вод, содержания и характера солей.

Промывную норму следует давать дробно с перерывами между подачей в 4-6 дней. Для первой промывки на легких почвах – 1800 м³/га, на средних – 2000 м³/га, на тяжелых – 2200-2300 м³/га, при последующих промывках на тяжелых почвах – 1800-1400 м³/га, на средних и легких – 1500-1000 м³/га. Наиболее эффективно процесс рассоления почвы идет после вспашки и уплотнения (прикатывания или малования).

Промывка идет тем медленнее, чем тяжелее грунты; прослойки тяжелого гранулометрического состава снижают, а легкого гранулометрического состава повышают эффективность промывок. Поэтому мелкий дренаж оправдывает себя лишь в зонах выклинивания грунтовых вод на тяжелых грунтах.

Наиболее эффективна промывка с отводом воды по глубоким дренам. Многочисленные опыты и широкая практика промывок на фоне глубокого дренажа показали, что этот способ позволяет рассолить почву до пределов, позволяющих получать высокие урожаи всех сельскохозяйственных культур. Реставрация засоления после промывок наблюдается в очень ослабленной форме, а в некоторых случаях не происходит совсем. Но процесс опреснения глубоких слоев грунта и грунтовых вод затягивается на длительное время.

Дренаж орошаемых земель. Дренаж, как активное средство борьбы с засолением и заболачиванием земель, широко распространен в США, Австралии, Египте, Индии, Китае, Алжире, Италии и других странах. Опыт его применения за рубежом показал, что он является коренным мероприятием в борьбе с засолением и заболачиванием земель.

В зависимости от гидрогеологических условий на орошаемых землях применяются горизонтальный, вертикальный и комбинированный дренаж. Дренаж различают постоянный, работающий в течение всего периода эксплуатации орошаемых земель, и временный, который используется совместно с постоянным для рассоления сильнозасоленных земель на период капитальных промывок (1-3 года). По расположению регулирующих элементов следует выделять дренаж: систематический – когда дренажные сооружения расположены равномерно по всей орошаемой территории; выборочный – дренажные сооружения строятся на отдельных участках орошаемых земель, находящихся в неблагоприятном мелиоративном состоянии; линейный – дренажные сооружения расположены по фронту питания грунтовых вод в пределах дренируемой территории или вне ее. Нередко систематический дренаж дополняют головными дренами для перехвата потока грунтовых вод, поступающих со стороны на мелиорируемый массив.

Тип дренажа и его конструктивные размеры зависят от природно-климатических условий и технико-экономических показателей того или иного способа искусственного дренирования. Различают мелиоративный и эксплуатационный периоды работы дренажа. Основная задача дренажа в мелиоративный период – ликвидация первичной засоленности новоорошаемых почв и вторичного засоления староорошаемых почв. Это быстрее всего достигается капитальными промывками и применением промывного режима орошения на фоне хорошо работающего дренажа. В этот период дренажный модуль должен быть максимальным.

В эксплуатационный период основное назначение дренажа – поддерживать режим уровня грунтовых вод на оптимальных глубинах и значительно ослабить интенсивность сезонного соленакопления в почвах.

Система горизонтального дренажа состоит из дрен и коллекторов с гидротехническими сооружениями, предназначенными для искусственного отвода избыточных грунтовых вод за пределы орошаемой территории.

Размещение коллекторно-дренажной сети зависит от рельефа местности, почвенно-мелиоративных и ирригационно-хозяйственных условий, а основные коллектора располагаются прежде всего по пониженным элементам рельефа, границам хозяйств и полей севооборота.

Параметры горизонтального дренажа (глубина, междреннее расстояние, ширина по дну, величина заложения откосов, диаметр труб и др.) зависят от гидрогеологических условий, фактической глубины и минерализации грунтовых вод и требуемой нормы осушения (понижения уровня грунтовых вод), водно-физических свойств почвогрунта в зоне аэрации (коэффициента водо- и солеотдачи, коэффициента фильтрации, проводимости водоносного пласта, мощности водоносной толщи), расчетного модуля дренажного стока и др.).

В большинстве случаев более эффективным является глубокий дренаж (2,5-3,5 м), по сравнению с мелким (1-2 м). Наиболее широко распространенным типом дренажа на засоленных староорошаемых землях является горизонтальный дренаж, а самым простым – открытый горизонтальный. Глубина от-

крытого канала изменяется в пределах 2,5-3,5 м и должна быть больше критической глубины грунтовых вод. Устройство закрытого дренажа заключается в закладке на определенной глубине и расстояниях гончарных, пластмассовых, асбестоцементных или других труб.

Расстояние между дренами на орошаемых землях зависит от глубины дрен, фильтрационных свойств грунта и глубины понижения грунтовых вод. На основании обобщения фактических данных по дренажу на орошаемых землях установлены следующие междренные расстояния для грунтов разного гранулометрического состава (табл. 17.1).

Таблица 17.1

**Зависимость расстояний от гранулометрического состава грунтов
(по Н.А. Беседнову)**

Гранулометрический состав грунтов	Коэффициент фильтрации, м/сут	Междуренные расстояния, м
Очень тяжелые	1	200
Тяжелые	1-2	200-250
Средние	3-5	300-400
Легкие	6-10	450-500
Очень легкие	10	550

В трудных гидрогеологических условиях для повышения эффективности действия дренажа вдоль открытых каналов через 100-400 м устанавливаются вертикальные скважины – усилители. Они устанавливаются преимущественно из асбестоцементных труб на глубину 4-10 м до поглощающего водоносного слоя. Поступающая в открытые дрены вода быстро уходит через скважины в водоносный песчаный пласт. Это позволяет увеличивать расстояния между дренами в 1,2-1,4 раза.

При наличии подземных вод в покровных мелкоземах, имеющих слабую водопроницаемость, устройство горизонтального дренажа не обеспечивает требуемого понижения грунтовых вод и не дает необходимого рассоляющего эффекта. В таких случаях применяют вертикальный дренаж. Особенно эффективен он при наличии хорошо проницаемых галечников и песков, расположенных ниже верхней толщи мелкоземов. Чем мощнее водоносный слой, тем с боль-

шим дебитом воды будет работать вертикальный дренаж. Наиболее благоприятные условия для строительства дренажа создаются в том случае, когда ниже слабоводопроницаемого покровного мелкозема, на глубине 10-20 м, залегают галечники и водоносные пески, в которых расположены напорные подземные воды. Вертикальный дренаж откачивает воду из специально заложенных на орошаемой территории скважин, оборудованных глубинными насосами. Он откачивает подземные воды, которые не изолированы, имеют гидравлическую связь с грунтовыми водами. При снижении напорности подземных вод происходит опускание грунтовых вод.

По сравнению с горизонтальным дренажем вертикальный имеет целый ряд преимуществ. Во-первых, при вертикальном дренаже практически не теряется полезная орошаемая площадь, в то время как при открытом горизонтальном дренаже эти потери составляют 6-10%. Во-вторых, вертикальный дренаж может понижать грунтовые воды на значительно большую глубину и с большей скоростью понижения, чем горизонтальный дренаж. Подъема соленых грунтовых вод не происходит, и при этом может сохраняться автоморфный процесс почвообразования. Соленые грунтовые воды удаляются, и сверху они замещаются пресными грунтовыми водами. В третьих, при вертикальном дренаже можно добиться устойчивого рассоления почвогрунтов на 3-5 м и более. Вертикальный дренаж является более совершенным с точки зрения эксплуатации. Его сооружение может быть полностью механизировано, а работа (эксплуатация) автоматизирована.

Глубина колодцев вертикального дренажа в зависимости от местоположения водоносного пласта – от 30-50 до 100-150 м.

Эффективное действие вертикального дренажа проявляется лишь при той конструкции фильтра, который позволяет получать удельные дебиты (расходы) на каждый метр понижения воды в скважине более 5 л/с. Общий расход скважины при этом может достигать 150-200 л/с. В зависимости от фильтрационных свойств водоносной толщи, глубины скважины и дебита откачки одна скважина может понизить уровень грунтовых вод на расстоянии 200-1000 м.

Режим и продолжительность откачки определяются степенью засоления почв и грунтовых вод, а также требованиями сельскохозяйственного производства. На сильнозасоленных землях с высокой минерализацией грунтовых вод и слабой водоотдачей может потребоваться откачка в течение двух-трех лет с продолжительностью работы скважин в году не менее 10 месяцев. В дальнейшей по мере опреснения почвогрунтов и грунтовых вод продолжительность откачки может быть сокращена и работа скважин приурочена к определенным периодам, например, к периоду проведения промывных и вегетационных поливов. В среднем в этот период скважины могут работать 6-9 месяцев в году в зависимости от особенностей года: во влажные с большей продолжительностью, в сухие – с меньшей. Это позволяет поддерживать грунтовые воды на глубине 2,5-3,5 м.

Эффективное улучшение мелиоративного состояния земель и ускоренное рассоление может быть достигнуто только при комплексном применении различных методов мелиорации. Ведущая роль в борьбе с засолением почв при этом должна принадлежать промывкам на фоне хорошо работающего дренажа.

Мелиорация солонцов. Солонцы мало плодородны, а многие разновидности их вовсе непригодны для культуры. Основными причинами низкого плодородия солонцов являются высокая щелочность, засоление вредными воднорастворимыми солями (содой, сульфатами, хлоридами) и плохие физические свойства.

Промывки солонцовых почв и содовых солончаков чистой водой практически неэффективны, так как наличие поглощенного натрия в комплексе солонцового горизонта предусматривает диспергированность почвенных агрегатов и набухание этого слоя при увлажнении, в результате чего значительно ухудшаются его фильтрационные свойства. Наличие поглощенного натрия в комплексе обусловлено низким содержанием в почве кальция в подвижной форме, что, в свою очередь, объясняется малым содержанием или отсутствием гипса в ней.

Чтобы устранить неблагоприятные химические свойства солонцов (высокую щелочность и дисперсность), широко применяют химическую мелиорацию: вносят растворимые соли кальция в виде гипса, углекислый кальций, гашеную известь. Если гипсовые и карбонатные горизонты залегают близко от поверхности, применяют глубокую мелиоративную вспашку, перемешивая нижние горизонты почвы с осолонцованными. Для мелиорации содовых солонцов используют серу, техническую серную кислоту, сульфиды железа и другие отходы химической промышленности.

И.Н. Антипов-Каратаев разработал комплексный агробиологический метод мелиорации солонцов, состоящий из предварительно неглубокой, а затем глубокой вспашки специальным плугом, травосеяния, внесения навоза и минеральных удобрений и, где это нужно, гипсования. При глубокой вспашке осуществляется мобилизация карбонатов кальция и коллоидов, а где неглубоко залегает гипс, то и гипса самой почвы. Чтобы повысить растворимость карбонатов кальция, усиливают биологические процессы в почве.

Химическую мелиорацию необходимо проводить прежде всего на солонцах с глубоким залеганием (ниже 40 см) карбонатного и гипсоносного горизонтов, когда карбонаты и гипс не могут быть вовлечены глубокими вспашками в солонцовый горизонт или их количество недостаточно для вытеснения поглощенного натрия.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕЛИОРАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ И ЗАБОЛОЧЕННЫХ ПОЧВ

Новые мелиоративные технологии в борьбе с переувлажнением должны обеспечивать эффективное использование осушаемых земель, регулировать водно-воздушный режим почв, повышать плодородие почв, поддерживать высокую продуктивность сельскохозяйственных культур и получение экологически чистой сельскохозяйственной продукции. На осушительных системах нового поколения проводится двойное регулирование водного режима, где наряду с регулированием водного режима осуществляется регулирование внутрипочвенного воздуха. Кроме этого используются осушительно-вентиляционные и осушительно-аэрационные системы.

Одним из важных приемов регулирования водного режима переувлажненных почв является устройство горизонтального дренажа. Строительство дренажа ведется траншейным, узкотраншейным и бестраншейным способами с применением керамических и пластмассовых труб.

Траншейный способ строительства закрытого дренажа имеет свои недостатки: высокая стоимость строительства и нарушение плодородного слоя почвы при его закладке. Узкотраншейный способ строительства дрен – наиболее прогрессивный. Ширина траншеи в этом случае может быть близка диаметру укладываемой дренажной трубы и фильтра. Ширина траншеи может составлять в зависимости от марки экскаватора-дреноукладчика 12-30 см. Преимущества узкотраншейного дренажа заключается в следующем. Малый расход объемных защитно-фильтрующих материалов, высокая производительность, простота контроля за качеством укладки дренажных труб и объемного фильтра, возможность использования керамических труб. К недостаткам его можно отнести необходимость использования на одном объекте дополнительной мелиоративной техники для строительства закрытых коллекторов или для подсоединения дрен к

коллекторам. Сложность исправления брака, например, при встрече с отдельными крупными камнями, погребенной древесиной и т. д.

При бестраншейном способе строительства закрытых дрен гибкая дренажная труба протаскивается в полость грунта, образуемую при движении плужного рабочего органа экскаватора-дреноукладчика. Этот способ строительства закрытых дрен является наиболее производительным. Совершенствование существующих модификаций бестраншейных дреноукладчиков направлено на создание приспособлений для устройства объемного фильтра, целесообразность которого особенно необходима при укладке дрен в слабоводопроницаемых грунтах для обеспечения гидравлической связи дрен с поверхностными водами. Без устройства объемного фильтра бестраншейный дренаж эффективно работает в грунтах с коэффициентом фильтрации более 0,2-0,3 м/сут.

Применение бестраншейного пластмассового дренажа является прогрессивным направлением в мелиорации переувлажненных земель страны по следующим причинам:

во-первых, бестраншейный пластмассовый дренаж в 3-4 раза повышает производительность труда в дренажном строительстве;

во-вторых, он резко сокращает или полностью устраняет необходимость ручных работ и обеспечивает сохранение плодородного слоя;

в-третьих, благодаря применению бестраншейного дренажа в 2,5-4 и более раз сокращаются объемы погребенного в траншее гумусированного грунта;

в-четвертых, при его строительстве не попадают в пахотный слой неплодородные, почвообразующие подстилающие породы и глеевые горизонты.

Таким образом, бестраншейный дренаж исключает необходимость восстановления плодородия почв, снижение которого всегда сопровождает мелиоративное строительство при укладке траншейного дренажа. Все это позволяет признать несомненными социальные и экономические преимущества бестраншейного пластмассового дренажа по сравнению с траншейным. Основными причинами недостаточного осушающего действия дренажа являются низкое качество его строительства, недостатки в изысканиях, ошибки при проектиро-

вании осушительных систем, выполнении строительных работ на переувлажненных почвах, недостатки в эксплуатации мелиоративных систем и переуплотнение почв при работе тяжелой техники.

Целесообразно проводить строительство бестраншейного пластмассового дренажа на почвах с двучленным строением профиля, когда верхний легкий флювиогляциальный или аллювиальный песчано-супесчаный нанос подстилается тяжелыми моренными, покровными лессовидными суглинками и пермскими тяжелыми суглинками и глинами.

Для осушения тяжелых почв с $K = 0,1-0,3$ м/сут рекомендуются дрены с присыпкой хорошо фильтрующим гумусированным грунтом из пахотного слоя или при необходимости песком или щебнем с устройством поглощающих колонок для отвода поверхностного и внутрипочвенного стока. Дрены дополняются закрытыми собирателями с засыпкой щели пористыми материалами необходимого качества до глубины рыхления или кротования. Шаг размещения закрытых собирателей должен определяться расчетом. Дрены и закрытые собиратели в этих условиях обязательно дополняются мероприятиями по ускорению отвода поверхностного стока и глубоким рыхлением.

Технологии бестраншейного строительства закрытого дренажа из полимерных труб с использованием новых дренаукладчиков позволяет повысить производительность труда. Фактический материал показывает, что конструкция бестраншейного дренажа при строительстве его дренаукладчиком недостаточно работоспособна в слабоводопроницаемых грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут., поэтому для этих условий необходимо усовершенствовать технологию бестраншейного дренажа.

Переход на пластмассовые трубы – основа дальнейшего технического прогресса в осушительной мелиорации. Пластмассовые трубы отличаются легкостью, достаточной прочностью и вместе с тем эластичностью. Применение их при бестраншейной укладке позволяет резко (в 4-5 раз) повысить производительность труда, улучшить условия труда и его привлекательность при обеспечении высокой надежности и долговечности дрен. В ближайшие годы этот

вид дренажа станет основой мелиорации. И в научном и в производственном отношении этот способ достаточно апробирован. Созданы новые более производительные бестраншейные дренажники.

Для повышения водозахватывающей способности дрен используют вакуумный дренаж. Он представляет осушительную сеть или отдельные дренажные устройства, с помощью которых в почвогрунте создается искусственное гравитационное поле, увеличивающее осушающий эффект дрены (скважины). Искусственное гравитационное поле получают путем образования вакуума в полости закрытых дрен (или скважин) — вакуумирование.

Вакуумный дренаж способен отводить не только свободную, но и капиллярную воду под действием значительно большего (за счет вакуума) гидравлического градиента в фильтрационном потоке по сравнению с обычными гравитационными дренажами.

При вакуумировании дрен можно свободную поверхность воды опускать ниже глубины заложения дренажных труб. В этом случае расположенная над свободной поверхностью воды капиллярная зона насыщена водой, причем нижняя ее часть насыщена почти до полной влагоемкости, поэтому когда свободная поверхность воды опускается ниже дрен, то в них продолжает поступать вода практически без воздуха через водонасыщенный участок капиллярной зоны.

При малом вакууме в дренах часто к моменту прорыва воздуха степень осушения почвы бывает достаточной для вегетации растений и производства работ. Возможны два режима вакуумирования дрен: установившийся и неуставившийся. В установившемся режиме вакуумирования дренаж работает до прорыва воздуха в дрены. Для поддержания установившегося режима после прорыва необходима подрегулировка вакуумирующих устройств, обеспечивающих постоянный вакуум. В обычных случаях после прорыва воздуха режим вакуумирования становится неуставившимся.

Вакуумный дренаж эффективен в почвогрунтах с коэффициентом фильтрации от 0,01 до 3 м/сут. В этом диапазоне его эффект по сравнению с обычным дренажем увеличивается с уменьшением коэффициента фильтрации.

Вакуумный дренаж рекомендуется для осушения слабопроницаемых грунтов. Его можно применять для того, чтобы сократить время осушения торфяных и минеральных избыточно увлажненных почв в гумидной зоне, а также почв влажных субтропиков, усилить эффект промывок засоленных земель. Для осушения сельскохозяйственных земель достаточен небольшой вакуум, что позволяет применять простые конструкции вакуумного дренажа.

В целях интенсификации отвода воды и солей из почвы были созданы новые технологические схемы дренажа – скважины с сифонными установками – вертикальный дренаж.

Для повышения эффективности и снижения стоимости дренажа используется кротовый дренаж. Метод осушения почв кротовым дренажем заключается в том, что при помощи специальных кротодренажных машин в почве на определенной глубине и необходимых расстояниях прокладываются подземные ходы, в которые поступает воздух и избыточная влага верхних слоев почвы.

Как регулирующая сеть детального осушения, кротовый дренаж чаще всего применяется в сочетании с материальным дренажем и закрытыми коллекторами. Такой дренаж называется комбинированным дренажем (рис. 16.1)



Рис.16.1 Комбинированный дренаж:
1 – гончарная дрена; 2 – кротовина, 3 – фильтрующая засыпка

Эффективность действия кротового дренажа обеспечивается соблюдением следующих условий:

1) кротовый дренаж должен закладываться в грунтах устойчивых от размокания и осыпания;

2) заложение кротового дренажа должно производиться только при оптимальной влажности грунта;

3) линии кротовых дрен должны закладываться с положительными уклонами в пределах 0,003-0,020 для глинистых грунтов и в пределах 0,005-0,015 для суглинистых;

4) грунт, в котором прокладываются кротовые дрены, должен быть однородным, без песчаных прослоек, камней, а также без подтеков подзола;

5) диаметр кротовых дрен должен, увязываться со свойствами грунта и его состоянием, оптимальный диаметр дренов составляет от 75 до 100 мм;

6) устья кротовых дрен при выходе в открытый коллектор должны предохраняться от закупорки путем оборудования гончарными или асбоцементными трубками длиной 30-50 см;

7) уход за сетью кротового дренажа, заключающийся в закрытии ножевых щелей сразу после нарезки кротовин, а также своевременным его возобновлением;

8) желательно, чтобы рельеф участков был относительно ровным, спокойным, без явно выраженных бугров и западин;

9) нарезку кротовин желательно производить против уклона, что обеспечивает повышение эффективности и сохранность кротовых дрен.

Кротовый дренаж представляет собой сеть параллельных полостей (ходов), проложенных в толще грунта на глубине более 0,5-0,6 метра на расстоянии 2-8 м друг от друга с определенным естественным или искусственным уклоном. По данным многочисленных исследований влияние кротового дренажа на повышение плодородия тяжелых почв наблюдается в течении двух-трех лет, после разрушения кротовых ходов его необходимо возобновлять.

Кротование, принципиально отличаясь от кротового дренажа отсутствием постоянного уклона по длине кротовин, имеет существенное преимущество. Так как почвы тяжелого гранулометрического состава сильно набухают, то щели, образуемые при устройстве кротового дренажа, смыкаются сравнительно быстро, и поступление воды в них затрудняется. При кротовании вследствие

меньшей глубины закладки кротовин это явление выражено слабее, и пахотный слой осушается значительно быстрее, чем при кротовом дренаже. Быстрое осушение пахотного слоя является важным фактором для сохранения структуры почвы и своевременного выполнения полевых работ. Кротование способствует также лучшему проникновению корневой системы в подпахотные слои и использованию запаса влаги этих слоев растениями.

Щелевые дрены используются на глубоких торфах. Глубина дрены 0,95 м, ширина по дну – 0,16 м, у поверхности – 0,04 м и выполняются они дренажно-дисковыми машинами. С помощью двух дисков верхняя часть траншеи закрывается, образуя торфяной свод. Производительность – до 400 м/ч. Использовались также щеледренажные машины. Размер щелевой дрены: глубина – 0,8 м, ширина – 0,18 м. Для предохранения от засыпки при вспашке полосу дрены закрывают специальным устройством в их верхней части на глубину 35-40 см. Щелевой дренаж очень хорошо зарекомендовал себя на торфах, срок его службы до 10 лет и более (кротовые дрены до 3-5 лет).

В тяжелых слабопроницаемых грунтах закрытый дренаж не обеспечивает своевременный, в соответствии с требованиями растений, отвод воды. Обеспечить это можно путем засыпки труб до уровня плужной подошвы хорошо фильтрующим материалом (песок, гравий и др.), т.е. путем преобразования дрен в закрытые собиратели.

Повысить эффективность дренажа, а следовательно, увеличить расстояния между ними в 1,5-2 раза возможно при применении агромелиоративных мероприятий. Предложены следующие типы этих мероприятий: узкозагонная вспашка (загоны шириною 3-4 м, а поперек их – борозды, со сбором воды в каналы), бороздование, гребневание, грядкование, профилирование поверхности, кротование, углубление пахотного слоя, глубокое рыхление почвы и др. Недостаток этих мероприятий – необходимость возобновления их через 2-5 лет. В конце XX в. из агромелиоративных мероприятий остались в практике сельского хозяйства: гребневание (высота гребней 13-15 см, расстояние между гребнями 0,7 м) выборочное бороздование для отвода воды из понижений, глубокое рых-

ление почвы на участках с закрытым дренажем на слабопроницаемых почвах. Другие мероприятия применяются ограничено. Выбор агромелиоративных мероприятий зависит в основном от физических свойств почв, уклона поверхности и применяемой агротехники (табл. 16.1).

Таблица 16.1

Условия применения агромелиоративных мероприятий (Маслов Б.С., 2002)

Мероприятия	Особенность рельефа	Гранулометрический состав почвы	Культура
Узкозагонная вспашка	Уклон более 0,002	Глинистый, суглинистый	Зерновые, пропашные
Профилирование	Уклон менее 0,002	То же	Культуры сплошного сева
Выборочное бороздование	Выраженный микрорельеф	Глинистый, суглинистый	Все культуры
Планировка и выравнивание	То же	Глинистый, суглинистый, супесчаный, торфяные	То же
Гребневание и грядование	Уклон менее 0,005	То же	Овощные, картофель, корнеплоды
Углубления пахотного слоя	Любой рельеф	То же	Все культуры
Глубокое рыхление	То же	Глинистый, суглинистый	То же
Кротованис. щелевание	То же	Глинистый, суглинистый (без камней), торфяные	То же

На вновь освоенных почвах перед проведением основной обработки для улучшения осушительного действия закрытого дренажа (например, на торфяных землях) и для улучшения вспашки на тяжелых минеральных почвах используют дополнительные агромелиоративные мероприятия: сплошное глубокое рыхление, сплошное и послойное рыхление-кротование и сочетание сплошного глубокого рыхления с кротованием. Все приемы глубокого рыхления и рыхления-кротования проводят на осушаемых дренажем глинистых и

суглинистых карбонатных и кислых почвах различной степени заболоченности, коэффициент фильтрации в подпахотных горизонтах которых менее 0,1 м/сут. Полосное рыхление-кротование на глубину 0,6-1,0 м с кротователем диаметром 6-9 см в сочетании со сплошным глубоким рыхлением или сплошным рыхлением-кротованием проводят на тяжелосуглинистых и глинистых почвах при коэффициенте фильтрации подпахотного слоя менее 0,01 м/сут. При этом рыхление – кротование осуществляют перпендикулярно закрытым дренам, а сплошное глубокое рыхление или рыхление-кротование – параллельно им. Полосное рыхление-кротование выполняют с шагом 2,5 м для глинистых почв, 5 м – для тяжелых и средних суглинков и 7,5 м – для легких суглинков.

Исследования показали, что при глубоком рыхлении тяжелых почв с разуплотнением подпахотного горизонта уменьшается плотность сложения на 0,25-0,27 г/см³, увеличивается общая порозность в начальный период после рыхления на 9,6%, а коэффициент фильтрации – в 26 раз. При этом возрастает наименьшая влагоемкость на 1,5-2%, уменьшается влажность завядания на 2,2-2,6%, что благоприятно сказывается на развитии растений, расширяется диапазон активной влаги в слое 25-50 см до 15 мм, пористость аэрации в начальный период после рыхления увеличивается на 6,6-8,2%.

Создание глубокого разрыхленного слоя благоприятно сказывается на перераспределении влаги по почвенному профилю и во времени, т.е. во влажные периоды года влажность на участках с рыхлением в верхнем слое понижается, а в засушливые – сохраняется в оптимальных пределах более продолжительно, чем на участках без рыхления.

Перспективным направлением технического прогресса в осушительной мелиорации является создание осушительно-увлажнительных систем. Разработан ряд конструкций таких систем на основе горизонтального и вертикального дренажа, дождевания и подпочвенного орошения.

Особого внимания требовали вопросы изучения влияния осушительных мелиораций на природные ландшафты и, в первую очередь, на изменение водного режима и продуктивность земель на прилегающих к осушительным сис-

темам территориях. Нежелательные последствия мелиорации должны быть сведены до минимума.

Восполнить дефицит влаги в почве в засушливые периоды призвана увлажнительная часть системы. Осушительно-увлажнительные системы обеспечивают не только отвод из почвы избыточной влаги, но и ее подачу в засушливые периоды вегетации растений. Осушительная часть систем, как правило, представлена закрытым дренажем, увлажнение осуществляется или по дренам (шлюзование дренажа), или дождеванием. Применение подпочвенного увлажнения по дренам ограничено хорошо проницаемыми грунтами (K более 0,8 м/сут) и ровным рельефом. Технически более совершенны системы с дождеванием, в которых в максимальной мере используются элементы осушительной сети (магистральные каналы, нагорно-ловчие каналы, коллекторы).

На осушительно-увлажнительных (оросительных) системах в острозасушливые годы урожаи от полива увеличиваются в 2-4 раза, но средние за многолетие годы прибавки урожаев составляют: на минеральных почвах – 30-50%, на торфяных – 20-40%. Орошение повышает качество урожая, увеличивает количество укосов и циклов стравливания трав, повышает эффективность применения удобрений.

Конструкция осушительно-увлажнительных систем с применением дождевания определяется рельефом местности, площадью и конфигурацией полей, впитывающей и несущей способностью почвы, характером сельскохозяйственного использования земель и типом дождевальной техники.

При проектировании оросительной сети для полива дождеванием необходимо: по возможности применять закрытую оросительную сеть, так как открытая сеть имеет существенные недостатки (значительные потери полезной площади, развитие вдоль каналов сорной растительности, фильтрационные потери воды, сложность эксплуатации осушительной сети).

При почвенном увлажнении вода подается непосредственно в корнеобитаемый слой. Существует несколько типов почвенного увлажнения: подпочвенное увлажнение корнеобитаемого слоя путем регулирования уровня грунто-

вых вод (шлюзование); внутрипочвенное увлажнение методом искусственной подачи воды в корнеобитаемый слой по пористым, перфорированным трубам или отверстиям в почве, расположенным непосредственно в увлажняемой зоне; капельное увлажнение, осуществляемое дозированным распределением влаги на поверхности почвы с помощью специальных капельниц.

Осушительно-увлажнительные системы с материальным дренажем, регулирующим водный режим корнеобитаемого слоя, эффективны на территориях с высокой ($K > 0,5-1,0$ м/сут) водопроницаемостью почвы и подстилающих горизонтов. В этих условиях обеспечивается необходимое повышение влажности за 3-6 сут. Системы строят с односторонним (на участках с большими уклонами) и двухсторонним впадением дренажа в открытые осушители-увлажнители или в закрытые коллекторы, протяженность которых принимают 600-800 м. Длина дрен 150-200 м при глубине их укладки 1,2-1,4 м.

Для обеспечения более равномерного и оперативного управления водным режимом, а также для увеличения расстояний между дренами применяют комбинирование закрытого дренажа с кротованием. Это рационально на грунтах с пониженной естественной фильтрационной способностью.

Вода в систему дрен-увлажнителей может подаваться по следующим основным схемам: в устья коллекторов-увлажнителей из проводящих осушительных каналов; в истоки коллекторов-увлажнителей из подводящих каналов-распределителей; в истоки коллекторов-увлажнителей из напорных трубопроводов; специальными увлажнительными трубопроводами из сети распределительных каналов. Технический уровень, степень сложности системы и ее стоимость возрастают от первой к последней схеме. Возможно комбинирование способов подачи воды, например, через устья и истоки, что обеспечивает большую гибкость работы систем. Для подачи воды в истоки дрен предусматривают коллекторы-увлажнители, в каждом из которых устраивают приемные колодцы, а в устье - колодцы с регулятором уровней.

На территории с торфяными почвами, имеющими малые уклоны, создают осушительно-увлажнительные системы с малыми уклонами дренажа (0,0005-

0,001) и безуклонные дренажные системы. Эти системы позволяют: уменьшать глубину регулирующих и проводящих элементов, что удовлетворяет требования охраны природы; ограничивать напоры в каналах и коллекторах в пределах 0,4-0,7 м; увеличивать длину дрен до 800-1000 м и более, а следовательно, и площадь полей до 100-400 га и более; создавать более равномерное увлажнение по площади при меньшем переувлажнении приканальных зон; повышать надежность работы, упрощать эксплуатационное управление и автоматизировать работу систем.

Во избежание заиливания и засорения закрытой сети в приемных колодцах необходимо устраивать решетки. Увлажнительные коллекторы должны иметь выход в открытую сеть для обеспечения промывки. На малоуклонных и безуклонных системах важно использовать дренажи большего диаметра.

Предупреждение негативного воздействия осушительных систем (ОС) на прилегающих территориях возможно путем применения перспективных конструкций мелиоративных систем с комплексом почво- и водоохраных мероприятий.

Предотвращение или уменьшение влияния осушительных систем на грунтовые воды прилегающих территорий, если понижение их уровней по каким-либо причинам нежелательно, при проектировании, строительстве и эксплуатации мелиоративных систем может быть достигнуто:

- • выбором такой схемы расположения осушительной сети, чтобы по периферии осушаемого массива понижение УГВ было наименьшим;
- созданием оградительных каналов (нагорных каналов и головных дрен) с поддержанием в них необходимых уровней воды;
- созданием осушительно-увлажнительных систем на базе вертикального дренажа или в комбинации с горизонтальным, что позволит более гибко управлять режимом грунтовых вод;
- применением комплекса мероприятий по задержанию поверхностного стока и подпитыванию грунтовых вод на водораздельных участках и склонах (создание прудов и водохранилищ, проведение вспашки поперек склонов,

использование для этой цели существующих гидротехнических и дорожных сооружений);

- поддержанием высоких УГВ на мелиорируемой системе с помощью шлюзов в осенне-зимнее время, так как в это время на осушаемом массиве УГВ расположен наиболее глубоко от поверхности земли и происходит наибольшая сработка грунтовых вод;

- сохранением лесных насаждений вдоль крупных каналов и на суходольных островах в пределах осушаемой территории, а также соблюдением режима эксплуатации мелиоративных систем.

Для улучшения водно-физических свойств и водного режима почв тяжелого гранулометрического состава рекомендовано использование их в первые годы после осушения под однолетними кормовыми культурами, предусматривая в едином технологическом процессе возделывание сельскохозяйственных культур, проведение послеосадочной планировки, интенсивное окультуривание почвы, рыхление подпахотных горизонтов и проведение мероприятий по организации поверхностного стока.

ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ И ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Усиление роли биологической мелиорации в мировом сельском хозяйстве связано с одной стороны с поисками способов его биологизации и экологизации и, с другой стороны, с экологическими трудностями коренного реформирования промышленного и сельскохозяйственного производства. Стимулом биологизации сельского хозяйства, включая фитомелиорацию, стали отрицательные последствия его интенсификации: истощение природных ресурсов, деградация почв и ландшафтов и, как следствие, потенциальный и фактический дефицит пахотнопригодных земель. Применение комплексной биомелиорации в сочетании с традиционными методами мелиорации позволят повысить бонитет сельскохозяйственных земель.

При проведении тех или иных мелиоративных мероприятий необходимо учитывать зональные особенности земледелия, потенциальные возможности субстрата и адаптационные свойства растений, рекомендуемых в качестве фитомелиорантов или фиторемедиантов. Поэтому очень важно знать технологию восстановления деградированных почв с использованием приемов фитомелиорации. Фитомелиорация основанна на использовании выноса химических элементов растениями. Для этой цели используются растения способные накапливать загрязняющие вещества в больших количествах.

Очистка почвы от загрязнения методом фиторемедиации. Фиторемедиация — использование растений-аккумуляторов металлов, биомассу которых необходимо удалять с рекультивируемого участка. При фиторедиминации важное значение имеет активизация микробиоты и формирование микоризы, что способствует повышению толерантности растений к тяжелым металлам. Для обезвреживания ядовитых органических веществ, попадающих в окружающую среду с отходами химических предприятий, уже давно и довольно успешно используют различные микроорганизмы. Почвенные микроорганизмы могут в

определенной мере деградировать и связывать загрязнение органическими веществами (биоремедиация). Перспективность этих методов очистки широко признана, и неслучайно с 1995 г. ежегодно проводятся международные конференции по фиторемедиации: 2-я прошла в 1997 г. в Сиэтле, 3-я – в 1998 в Хьюстоне. Однако микроорганизмы не способны удалять из почвы и воды вредные для здоровья тяжелые металлы, например, мышьяк, кадмий, медь, ртуть, селен, свинец, а также радиоактивные изотопы стронция, цезия, урана и другие радионуклиды. Иное дело, зеленые растения, которые извлекают из окружающей среды и концентрируют в своих тканях различные элементы.

Растения могут ускорить биоремедиацию в верхнем слое почвы из-за их способности стимулировать почвенные микроорганизмы путем усвоения элементов питания из почвы и транспорта кислорода к корням. Горизонт почвы тесно связанный с корнями растений, – ризосфера имеет большое количество метаболически активных микроорганизмов, по сравнению с их содержанием в почве без растений. Ризосфера является зоной повышенной микробиологической активности и биомассы, чем нижележащие горизонты. Эта симбиотическая связь между почвой и микробами является ответственной за процесс деградации загрязненной почвы. Взаимодействие между растениями и микробиальными сообществами в ризосфере является очень сложным и оно взаимно полезно для обоих жизненных форм. Растения поддерживают большие микробиальные популяции в ризосфере путем выделения таких веществ, как углеводы и аминокислоты через клетки корней и отщепления эпидермиальных клеток. Корни выделяют также клейкие желатиноподобные вещества, которые способствуют проникновению их в глубину в период вегитации. Используя эти имеющиеся питательные вещества, почвенные микроорганизмы формируют ризосферу растений.

Кроме того, растения сами способны поглощать широкий спектр органических загрязнителей из почвы посредством корней. Осваиваемые вещества трансформируются в растительных тканях в менее токсичную форму, которую без особого труда можно собрать и захоронить.

Этот метод очистки окружающей среды был назван фиторемедиацией – от греческого «фитон» (растение) и латинского «ремедиум» (восстанавливать). Фиторемедиация стала эффективным и экономически выгодным методом очистки окружающей среды только после того, как обнаружили растения-гипераккумуляторы тяжелых металлов, способные накапливать в своих листьях до 5% никеля, цинка или меди в пересчете на сухую массу, т.е. в десятки раз больше, чем обычные растения.

Использовать гипераккумуляторы для очистки почвы и воды предложили еще в начале 80-х годов. Однако до практики было еще далеко, во-первых, потому, что биомасса этих растений была невелика, а во-вторых, потому что не была разработана технология их выращивания. Большинство дикорастущих гипераккумуляторов относится к семейству крестоцветных – близких родственников капусты и горчицы; один из видов горчицы, называемой индийской, или сарептской, оказался весьма эффективным накопителем свинца, меди и никеля. Свинец способны накапливать также кукуруза и известный сорняк амброзия.

Растения слабо усваивают многие тяжелые металлы – например, тот же свинец – даже при их высоком содержании в почве из-за того, что они находятся в виде малорастворимых соединений. Поэтому концентрация свинца в растениях обычно не превышает 50 мг\кг, и даже индийская горчица, генетически предрасположенная к поглощению тяжелых металлов, накапливает свинец в концентрации всего 200 мг\кг, на сильно загрязненной этим элементом почве.

Проблему удалось решить, когда обнаружили, что поступление тяжелых металлов в растения стимулируют вещества (например, этилендиаминтетрауксусная кислота), образующие с металлами в почвенном растворе устойчивые, но растворимые комплексные соединения. Так, стоило внести подобное вещество в почву, содержащую свинец в концентрации 1200 мг/кг, как концентрация тяжелого металла в побегах индийской горчицы возросла до 1600 мг/кг в 8 раз.

Для очистки воды неоднократно пытались использовать растения, способные накапливать тяжелые металлы не только в стеблях и листьях, но и корневой системе; наиболее подходящими для этой цели оказались некоторые сор-

та подсолнечника. Механизмы очистки воды с помощью корней и проростков могут быть различными. Возможность очистки почвы и воды от радионуклидов с помощью проростков подсолнечника была успешно продемонстрирована на территории бывшего завода по обогащению урана в США, в штате Огайо, а также на Украине, на небольшом водоеме в километре от четвертого реактора Чернобыльской АЭС.

Увеличить фитомелиоративное действие растений можно, если фитомелиорацию предварить химической очисткой почвы – промывкой с помощью органических лигандов, способных связывать ТМ в прочные комплексы, усваиваемые растениями. Например, EDTA (этилендиаминтетрауксусная кислота) в кислых почвах связывает металлы в комплексы, доступные для растений. Для щелочных и нейтральных почв для этой цели надо использовать HEDTA (гидроэтилендиаминтетрауксусную кислоту). Комплексы этого соединения с металлами устойчивы в щелочных и нейтральных средах.

Фермент редуктаза, локализованная в корневых клетках растений, восстанавливает металлы в почве и тем самым переводит их в более подвижные формы. С помощью фиторемедиации уровень загрязнения ТМ снижается на 10-20%. Для фиторемедиации, пригодны следующие растения: люцерна (с симбиотическими углевододеградирующими бактериями), растения из семейства бамбуковых (аккумулируют кремний в стеблях и азот в форме сырого протеина в листьях), тополь обыкновенный (используется для абсорбции пестицидов, атразина), столовка широколистная, дерн флоридский, ярутка альпийская и др (табл.17.1).

Таблица 17.1.

Некоторые растения, пригодные для фиторемедиации почвы, загрязненной ТМ (КирейчеваЛ.В.)

Растение	Фиторемедиативное действие растения
Арабидонсис	Трансформирует ртуть в газообразное состояние
Столевка широколистная	Аккумулирует цинк и медь
Индийская зеленая горчица	Аккумулирует селен, свинец, хром, кадмий, никель, цинк.
Дерн флоридский и молочайные	Аккумулирует никель
Растения из семейства сложноцветных в симбиозе с бактерией <i>Arthobacter</i>	Аккумулирует цезий и стронций
Ярутка альпийская	Аккумулирует свинец, цинк, кадмий

Методы фиторемедиации можно использовать для формирования почво-защитного севооборота. Для этого необходимо подобрать растения, способные более эффективно, чем названные виды, концентрировать тяжелые металлы.

Методы биотической мелиорации засоленных земель. В системе биотических методов мелиорации почв значительный интерес представляет использование соле- и солонцеустойчивых растений для мелиорации и первичного окультуривания малопродуктивных почв. В настоящее время во всем мире усиливается тенденция к использованию специальных, в том числе и окультуренных растений, которые способны, с одной стороны, выдерживать повышенное содержание солей в силу своих биологических и эколого-физиологических особенностей, а с другой – обладают мелиорирующим воздействием на почвы.

Механизм мелиоративного воздействия биомелиорантов на наиболее распространенные слабозасоленные почвы заключается в том, что при близком залегании уровня грунтовых вод интенсивно развивающиеся растительные ассоциации предохраняют почву от засоления и осолонцевания за счет использования основной части капиллярной влаги грунтовых вод на транспирацию, препятствуя тем самым передвижению солей в верхние почвенные слои. Благодаря снижению уровня грунтовых вод, создается достаточно свободная емкость в зоне аэрации для поступления нисходящих токов влаги при поливах и выносе солей вместе с ними. В результате применения биомелиоративных севооборотов увеличивается общее содержание гумуса, повышается его качество и улучшается структура почв. Важное значение при этом придается биомелиорантам, отличающимся своей высокой биопродуктивностью. Вместе с тем, для биомелиоративного окультуривания почв необходимы специальные технологии выращивания сельскохозяйственных культур с учетом оптимального их размещения в севообороте, соответствующая обработка почв в зависимости от условий почвообразования и свойств почв.

При проведении мелиорации сильнозасоленных почв целесообразно использование галофитов и мезогалофитов. Наряду с продовольственным значением, галофиты представляют большой интерес как биологическое средство

мелиорации засоленных земель в силу их биологических особенностей – способности поглощать из почвы и накапливать в надземной массе большое количество водорастворимых солей, которые затем могут удаляться при укосах. Кроме того, возделывание галофитов на засоленных почвах позволяет дополнительно получить новые источники ценных высокобелковых и энергонасыщенных кормов, масличных и лекарственных культур.

Эффективность биотической мелиорации почв повышается при дополнительном применении агролесомелиоративных мероприятий. Лесные полосы способствуют понижению уровня грунтовых вод, уменьшают скорость ветра между полосами, в результате чего уменьшается расходование почвенной влаги на физическое испарение.

Восстановление продуктивности засоленных земель и повышение их плодородия успешно решает биотическая мелиорация засоленных земель с использованием галофитов. Как известно, надземная фитомасса многочисленных видов галофитов может быть полезным источником различной продукции. Способность галофитов к формированию высокорослой, разветвленной надземной массы обеспечивает испарение большого количества воды и снижение концентрации солей из верхних почвенных горизонтов.

В результате широкомасштабной видовой и внутривидовой селекции, найдены 15 перспективных видов и экотипов, пригодных в качестве растений-биомелиорантов и для производства энергонасыщенных кормов и лекарственного сырья на вторично засоленных почвах и в условиях орошения соленой водой. Перспективными для использования оказались следующие галофиты: сведа дуголистная (*Suaeda arcuata*), сведа заостренная (*S. acuminata*), лебеда белая (*Atriplex cana*), климакоптера мясистая (*Climacoptera crassa*), марь белая (*Henopodium albidum*), бассия иссополистная (*Bassia hisopifolia*), саликорния европейская (*Salicornia europaea*), кохия веничная (*Kochia scoparia*), солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), солодка уральская (*G. Uralensis*), полынь солончаковая (*Artemisia halophila*) и другие.

Все галофиты обладают высокой средообразующей и средооптимизирующей функцией и оказывают высокий мелиоративный эффект на засоленных почвах. Благодаря эффективному затенению поверхности почвы надземной массой, насосным функциям биологического дренажа, плантации галофитов обеспечивают резкое снижение физического испарения, понижение уровня грунтовых вод, вынос солей надземной массой и, вследствие этого, обеспечивают рассоление почв.

Свежее органическое вещество, поставляемое галофитами, позволяет улучшить физико-химические свойства почвы, ее биологическую активность, изменить величину pH, электропроводность, гидравлическую проводимость.

Основной принцип освоения мелиоративного севооборота состоит в использовании в первые годы галофитов с последующим переходом к смешанным посевам галофита с кормовой культурой и постепенным, по мере рассоления почвы, увеличением площади под кормовой культурой. При полном рассолении почвы осуществляется чистый посев кормовой культуры.

Биотический способ рассоления почвы рекомендуется применять на супесчаных средне- и сильнозасоленных почвах. В области биотической мелиорации засоленных деградированных сельхозугодий значительные достижения имеются в США, Израиле, Австрии, Китае. Наибольший объем исследований проведен в области агролесомелиорации. Полученные результаты дали основание утверждать, что многолетние солеустойчивые растения и их смеси с однолетними культурами пригодны для освоения вторично засоленных орошаемых земель.

В экстремальных условиях в отличие от однолетних растений, многолетние оцениваются как биологический буфер. Они покрывают почву в течение длительного периода времени, стабилизируя ее глубокой и хорошо разветвленной корневой системой. Их рост не определяется краткими сроками начала дождей, а большинство видов многолетников обладает физиологическими и морфологическими признаками, позволяющими противостоять длительным периодам засухи.

Сочетание деревьев и кустарников с однолетними культурами в аридной зоне рассматривается как один из главных приемов по сбалансированию сельскохозяйственной экономики и охране среды в засушливой зоне. Постоянный покров из деревьев и кустарников – галофитов стал составной частью агроценоза и ландшафта. Галофиты выращивают в системе ротации, они – объект специализированных отраслей растениеводства. Деревья перехватывают воду из каналов, сокращают объем подземных вод в результате эвапотранспирации и не требуют орошения. В условиях склоновых земель потоки воды со склонов затрудняют развитие земледелия у их подножий. Посадки древесно-кустарниковых насаждений позволяют перехватывать подземные и поверхностные водные потоки, сокращая объем дренажных вод и ослабляя засоление. Кустарниковая залежь – распространенный метод улучшения почвенного плодородия и интенсификации сельскохозяйственного производства в аридной зоне. Совершенствование агролесомелиорации в аридной зоне направлено на обеспечение продуктивного долголетия растений и стабилизацию условий внешней среды.

По данным Калифорнийского отделения Министерства сельского хозяйства США, организация сельскохозяйственных систем с использованием галофитов обеспечивает регулирование засоления и селенового загрязнения. Производственные опыты по организации такой системы борьбы с засолением почв были проведены в США в долине Сан Джоакин в Калифорнии. Этот район известен как центр промышленного семеноводства люцерны и характеризуется ярко выраженным полузасушливым климатом. Регулирование засоления осуществляется посредством создания сельскохозяйственной системы с участием солеустойчивых деревьев и других жизненных форм галофитов в сочетании с испарительными прудами. Такая система обеспечивает вынос солей с помощью деревьев и специально подобранных видов галофитов. В этой системе сельскохозяйственные культуры, чувствительные к засолению, орошаются свежей водой, а деревья и другие галофиты используют дренажную воду. Солеустойчивые растения составляют основу данной системы ведения сельского хозяйства. В условиях долины Сан Джоакин высокий уровень грунтовых вод (0-1,5 м) ог-

раничивает развитие земледелия. Посаженные деревья в этих условиях выполняют функцию вертикальных или биологических дрен. Древесно-кустарниковый покров, поглощая грунтовую воду, реализует ее для производства биомассы и испаряет через листву.

В Калифорнии наибольший экономический эффект по использованию воды на единицу площади обеспечивали земляника, картофель и другие овощные и плодовые культуры. Древесно-кустарниковые формы галофитов рекомендуются для потребления близко залегающих грунтовых вод, перехвата подземных и поверхностных потоков воды и поглощения солей. Концентрация солей в постоянно сокращаемом объеме дренажной воды возрастает. Эта вода направляется в малые испарительные пруды или водоочистные сооружения. Наряду с этим, галофиты накапливают соли и селен. Наблюдения в долине Сан Джоакин показывают, что галофиты не способны заменить большие испарительные пруды.

Посадка деревьев и кустарников в системе агролесомелиорации, разработанная в Калифорнии, рекомендуется блоками или рядами по границам зон земледелия и вдоль дорог.

Использование приемов агролесомелиорации способствует улучшению экологического состояния территории. Опыт Калифорнии показывает, что агролесоводство – сложная система, требующая учета и анализа таких факторов, как засоление, почвенные условия, уровень грунтовых вод, просачивание воды и ее сток, концентрация селена и других токсических элементов, подбор культур, качество биомассы и др.

Сочетание чувствительных к засолению овощных культур и устойчивых к засолению сельскохозяйственных культур (хлопчатник, люцерна) с выращиванием галофитов позволяет экономить оросительную воду, сокращая поступление солей на 20-25 %. Правильный подбор сельскохозяйственных культур в агролесоводческой системе мероприятий ослабляет деградацию земель и позволяет экономить расходы на рассоление и регулирование селенового загрязнения.

Для рассоления почв разрабатываются специальные мелиоративные севообороты с участием галофитов. В опытах, проведенных на Калмыцкой опытно-мелиоративной станции, севооборот включал следующее чередование культур: 1-й год – галофит, 2-й год – галофит, 3-й год – галофит 70% + люцерна 30%, 4-й год – галофит 50% + люцерна 50%, 6-й год – чистый посев люцерны. Расчеты показали, что полное рассоление почвы при сильной степени засоления может быть достигнуто на шестой год освоения севооборота. Однако, продуктивное использование севооборота возможно с первого года освоения. В связи с тем, что срок рассоления 5-6 лет, необходимо введение пяти-семипольного севооборота. При этом отмечается, что хотя процесс рассоления почвы в мелиоративном севообороте протекает медленнее, чем при промывке, продуктивное использование орошаемого поля возможно в течение всего периода освоения севооборота.

Таблица 17.2

**Сравнительная оценка влияния галофитов на солевой баланс песчаной почвы
(Грамматикати, Алиев, 1991)**

Солевой баланс в слое почвы 0-100 см, т/га	С галофитами	Без галофитов
Поступило солей с оросительной водой с 5.04.86 г. по 30.09.88 г.	24,24	24,24
Вынесено из почвы галофитами	9,3	0
Промыто осадками за холодный период года	9,73	11,21
Накопилось в почве	0,35	12,32
Опресняющий «эффект мульчи» из галофитов, затеняющих поверхность почвы	2,67	0
Сумма	12,75	23,53
Проникло за пределы слоя почвы 0-100 см	1,84	0,71

Рассоление почвы в мелиоративном севообороте должно проводиться до глубины не менее 100 см. При такой глубине рассоления будут созданы благоприятные условия для развития корневой системы как галофитов, так и культурных растений, а также для процесса гумусообразования.

Биотический способ рассоления почвы рекомендуется применять на средне- и сильнозасоленных среднесуглинистых почвах, когда степень хлорид-

ного засоления не превышает 0,6%. Для быстрого и эффективного рассоления почвы урожайность надземной массы галофита должна быть не ниже 10 т/га, а вынос солей галофитом не менее 4 т/га.

При расчете рассоляющей способности галофита учитывается «эффект мульчи», а также вынос солей осадками холодного периода года. Влияние галофитов на солевой баланс песчаной почвы показано в табл. 17.2.

В среднесуглинистых почвах при засолении 0,3% и плотности сложения 1,2 т/м³ в метровом слое почвенной толщи содержится 36 т/га солей. При урожае надземной массы 10 т/га галофиты выносят около 4,5 т/га солей, осадки в течение холодного периода года до 2 т/га солей. Галофиты, затеняя почву, препятствуют подъему солей из более глубоких слоев в верхние слои. «Эффект мульчи» составляет также около 2,5 т/га солей. Итого на участке, занятом галофитами, процесс рассоления почвы достигает 9 т/га в год и рассоление почвы достигается за 5 лет. На 3-й год почва из средnezасоленной переходит в слабозасоленную, а в конце 5-го года освоения обеспечивается полное рассоление почвы. При рассолении сильнозасоленной почвы галофиты занимают поле 3 года подряд. В конце 3-го года освоения почва из сильнозасоленной переходит в средnezасоленную и в конце 5-го – в слабозасоленную. Полное рассоление почвы достигается в конце 6-го года освоения.

По данным Калмыцкого филиала ВНИИГиМ, рассоляющая способность галофитов в среднем более чем в 10 раз превышает способность культурных растений выносить соли из почвы. Наиболее солеустойчивым и способным выносить из почвы вредные соли оказался солерос европейский. Это растение выдерживает концентрацию хлора в почве более 10, что в 100 раз превышает его содержание в незасоленной почве. При этом, в сухой массе листьев и стеблей солероса накапливается до 18,8% хлора.

Среди растений-биомелиорантов мелиорирующей способностью обладает солодка голая – многолетнее травянистое растение с мощно развитой и глубоко проникающей корневой системой из семейства бобовых.

Опыты по выяснению мелиорирующей роли солодки, проведенные в Центральной Азии на орошаемых вторично засоленных землях Голодной степи, показали достаточно высокий эффект биотической мелиорации от культуры солодки на засоленном участке. На этих землях растения солодки нормально росли и развивались, сформировывали мощную подземную и надземную массы. За период ротации содержание солей в метровом слое почвы снизилось в 2 раза: сухой остаток уменьшился с 2,5% до 1%, ионы хлора – с 0,2 до 0,02, натрия – с 0,24 до 0,003, магния – с 0,3 до 0,05%. Содержание гумуса повысилось с 0,4 до 1,6%, растворимых форм азота, фосфора, калия возросло в 1,5-2 раза. После возделывания солодки голой и завершения первой ротации севооборота урожайность хлопка-сырца здесь составила 3-3,2 т/га и во второй ротации- 3,3 т/га.

В другом опыте, выполненном также в Голодной степи, показана высокая мелиорирующая роль солодки голой на очень сильнозасоленных почвах. Содержание водорастворимых солей в пахотном слое почвы составляло 3,0%, в том числе иона хлора – 0,286-0,386%, а гумуса – 0,41%. После посадки солодки голой на этом участке на третьем году жизни надземные побеги и листья растений покрыли 80-90% поверхности почвы. Это привело к затенению и снижению температуры почвы, что, в свою очередь, обусловило замедление физического испарения влаги с поверхности почвы. В результате, в метровом слое почвы количество солей сухого остатка снизилось до 1,5%, иона хлора – до 0,04%, а гумуса увеличилось до 0,51%. Аналогичные закономерности выявлены в работах по биотической мелиорации в Новом Южном Уэльсе, Австралия (Malkolm, Swaan, 1985; Meiri, Shalhevet, 1973).

Таким образом, опреснение почвы с помощью галофитов является важным способом удаления вредных для культурных растений солей из почвы. Именно такой подход позволяет совершенствовать агроландшафты, воспроизводить плодородие почв и получать требуемую продукцию на загрязненных землях.

АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ КАК ОСНОВА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ДЕГРАДАЦИОННЫМ ПРОЦЕССАМ

В условиях глобального обострения экологической ситуации в мировом земледелии важнейшей составной частью определения и характера современных технологий выращивания всех сельскохозяйственных культур является их экологическая безопасность и обеспечение экологической чистоты продукции. Разработка систем земледелия начинается с уточнения типологии ландшафта конкретного землепользования и выделения элементарных ландшафтов с учетом агроэкологической и агроэкономической оценки. На начальном этапе проектирования необходимо выявить причины низкой продуктивности системы земледелия, факторы, ограничивающие повышение эффективности производства продукции растениеводства, степень интенсификации земледелия различных элементов агроландшафта, наличие их экологической несбалансированности.

Ландшафтно-экологический анализ территории позволяет установить оптимальные соотношения сельскохозяйственных и несельскохозяйственных угодий с учетом неоднородности и устойчивости конкретного ландшафта, геохимических и биофизических процессов в нем, увязать систему земледелия, агротехнику, мелиорацию и специализацию хозяйства.

После анализа природно-климатических условий необходимо дать оценку пригодности различных агроландшафтов для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом экологических ограничений по следующим показателям: соответствие уровня плодородия почвы потребностям растений с целью оптимального удовлетворения их потребностей в элементах минерального питания, реакции почвенной среды, водно-воздушный и тепловой режимы; соответствие крутизны, формы и экспозиции склона. Технологии возделывания культур,

обеспечивающие сохранение почвенного покрова и предотвращение эрозионных процессов; соответствие ландшафтных условий по гранулометрическому составу, каменистости почв и расположению земельных участков, энергосберегающим технологиям и экономической эффективности производства продукции; учет показателей, взаимосвязанных с флорой и фауной (видовое обитание растений, энтомофауны и различных форм микроорганизмов) всего ландшафта и сопряженных территорий.

Практическое конструирование агроландшафтов должно основываться на нормативно-технологических показателях плодородия почв: биологических – содержание гумуса и его запасы, активность почвенной биоты, фитосанитарное состояние; агрофизических – плотность, структура и мощность пахотного слоя почвы; агрохимических – реакция почвенной среды, содержание азота, фосфора, калия и микроэлементов; допустимых балансах воды, биофильных элементов и гумуса; твердом стоке и дефляции почвы в конкретных регионах; загрязнении ландшафта пестицидами и тяжелыми металлами; фитосанитарном состоянии ландшафта. Все эти показатели находятся в прямой зависимости с урожаем возделываемых культур севооборота.

Применение системного метода в проектировании агроландшафтных систем земледелия оказывает положительное влияние на рациональное использование почвенных и агроклиматических ресурсов сельскохозяйственных предприятий и обеспечивает высокую экономическую эффективность производства. В основе современной ландшафтно-экологической системы земледелия остаются два очень важных признака: способы использования земли и способы восстановления плодородия почвы.

В условиях нарастающей экологической угрозы на эти основополагающие признаки и элементы или звенья, их отражающие, накладываются способы предупреждения или защиты почвы от эрозии и охраны окружающей среды. Кроме того, на сущность и содержание современной ландшафтно-экологической системы земледелия большое влияние оказывают наличие, состояние и уровень продуктивности естественных кормовых угодий. Они приоб-

ретают особое производственное и экологическое значение. Таким образом, основой создания агроландшафта и освоения ландшафтно-экологической системы земледелия являются формирование и рациональное сочетание агро- и биопе-доценозов.

С точки зрения экологии, особое внимание в рассматриваемой системе земледелия уделяют состоянию гидрологии и водного хозяйства, садоводства, лесного хозяйства и другим элементам структуры землепользования.

Адаптивно-ландшафтное земледелие на ландшафтно-экологической основе состоит в создании сбалансированных высокопродуктивных ландшафтно-экологических систем максимально адаптированных к местным природно-климатическим и социально-экономическим условиям.

Основными лимитирующими факторами условий произрастания растений при формировании ландшафтно-экологических систем в аридной зоне выступают почвенная и воздушная засуха, водная и ветров эрозия почвы, засоление земель. В гумидной зоне основные ограничения земледелию и получению высоких урожаев сельскохозяйственных культур создают переувлажнение и заболачивание земель, повышенная кислотность, зарастание древесно-кустарниковой растительностью, низкое плодородие почв и др.

Все это еще раз свидетельствует о том, что основным направлением развития земледелия в XXI веке должен стать переход на адаптивно-ландшафтное земледелие, призванное обеспечить рациональное использование природно-ресурсного потенциал агроландшафтов, повышение их продуктивности, устойчивости и экологической безопасности.

Во многих тропических и субтропических зонах, где формирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия связано с потребностью практически всех сельхозугодий в той или иной мелиорации. Адаптивные ландшафтные системы по существу являются ландшафтно-мелиоративными, которые служат активным средством регулирования природных процессов и рациональной организации территории.

Адаптивно-ландшафтное земледелие призвано посредством воздействия на исходные (природные) свойства ландшафта обеспечить более полное соответствие ландшафтных условий землепользования агробиологическим требованиям культурных растений к среде произрастания, а также технологическим требованиям их возделывания.

В условиях ландшафтного земледелия учитываются особенности каждого ландшафтного выдела, которые должны способствовать улучшению использования земель в соответствии с природным назначением. Комплекс мероприятий для каждой ландшафтной единицы должен диктоваться, прежде всего, требованиями адаптивной системы земледелия по приведению в соответствие ландшафтных условий. Так, например, в рамках одного поля могут изменяться параметры плодородия почвы (N, P, K, pH, гумус и др.) Поэтому дифференцированный подход с учетом дефицита веществ позволит бороться с пестротой плодородия почвы, повысить эффективность производства, снижая при этом опасность загрязнения окружающей среды.

Учет плодородия отдельных участков поля при выполнении сельскохозяйственных операций способствует: увеличению производства сельскохозяйственной продукции, оптимальному использованию ограниченных ресурсов и, в первую очередь, удобрений, снижению загрязнения окружающей среды, более рациональному использованию современной техники, улучшению управления сельскохозяйственным производством.

Переход от технологий, базирующихся на усредненных показателях параметров плодородия и других характеристик состояния поля и посевов, к дифференцированному воздействию на систему «почва-растение» обеспечивает адаптивно-ландшафтная система земледелия. Однако для успешного применения этой системы требуется использование новых машин и оборудования, отвечающих новым тенденциям в развитии технологии.

Основными отличительными особенностями адаптивно-ландшафтного земледелия являются: комплексность (для каждого участка или поля сущест-

вуют оптимальные наборы мероприятий); экологичность (учет их; ресурсосбережение, снижение энерго- и материалоемкости, трудовых затрат и пр.).

Адаптивная роль ландшафтного земледелия на мелиорируемых землях, представляет собой сочетание земельной, водной, биологической, химической и других мелиораций, применяемых на одном поле в целях создания и сохранения высокой и устойчивой продуктивности сельскохозяйственных угодий при получении экологически безопасной продукции, повышения плодородия земель с учетом природных условий конкретного агроландшафтного выдела.

Состав и объем необходимых мероприятий определяется природно-климатическими условиями района их проведения и требованиями ландшафтных систем земледелия в части рационального использования природно-ресурсного потенциала агроландшафтов, повышения их продуктивности, устойчивости и экологической безопасности.

При создании агромелиоративных ландшафтов приоритетными являются методы и способы борьбы с засухой. В этих условиях основой комплексных мелиораций, придающих устойчивость и стабильность функционирования агроэкосистем, является орошение, сочетающееся с агролесомелиоративными мероприятиями, биологическими, химическими мелиорациями и др. В гумидной зоне к числу приоритетных относятся: осушение заболоченных и переувлажненных земель, обеспечивающее нормированное понижение уровня грунтовых вод в корнеобитаемом слое почвы и поддержание в нем необходимого водно-воздушного режима; культуртехнические, химические (известкование кислых почв) мелиорации, а также так называемые почвоулучшающие мелиорации, включающие внесение органических и минеральных удобрений и биопрепаратов.

В первую очередь требуется для каждой природно-климатической зоны провести типизацию агроландшафтов с целью формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия; разработать оптимальные параметры агрофизических и агрохимических характеристик плодородия почв различных агроландшафтов, которые должны обеспечивать освоение адаптивно-ландшафтных

систем земледелия; агротребования к технологии их осуществления; составить структурно-функциональную схему оптимизации условий произрастания отдельных сельскохозяйственных культур, которая отражает содержание и последовательность проведения агротехнических и агромелиоративных мероприятий по оптимизации всех свойств почв, определяющих уровень продуктивности культур. При этом технология расчетов должна базироваться на результатах анализа лимитирующих факторов среды произрастания культур на конкретном поле и сопоставления их с реально оптимальными параметрами плодородия для данного типа агромикрорландшафта, на основе чего подбирается соответствующий состав технологических приемов и средств для условий данного поля.

За основу разработки структуры ландшафтно-экологической системы земледелия необходимо взять балансовые расчеты по затратам и выходу энергии, балансу питательных веществ, экологическому изменению всех элементов землепользования, качественным показателям сельскохозяйственных продуктов, питьевой воды, изменениям в животном и растительном мире окружающей природы.

Потенциальные возможности каждого ландшафта определяются количеством приходящей солнечной энергии, которая обеспечивает растения фотосинтетически активной радиацией и теплом. Эти нерегулируемые компоненты природной среды служат основным источником энергии для систем земледелия.

Для каждого элемента агроландшафта должны быть разработаны экологически обоснованные технологии возделывания сельскохозяйственных культур. На основании сопоставления агроэкологических характеристик агроландшафтов, лимитирующих факторов условий произрастания растений, определяются мероприятия, обеспечивающие устойчивую продуктивность, сохранение (улучшение) агроландшафта и его экологическую безопасность. Составляются адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, и дается

примерная энергетическая и экономическая эффективность ландшафтно-адаптивных систем земледелия.

При разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия желательно пользоваться специальными почвенно-мелиоративными картами, в которых отражена информация о необходимых агроландшафтных и агрономических мероприятиях по оптимизации свойств и режимов почв применительно к каждому типу агроландшафта с учетом структуры почвенного покрова.

Важная составная часть формирования агроландшафта и освоения ландшафтно-экологической системы земледелия – система экологического контроля. Оптимальное соотношение сельскохозяйственных, лесных, водных и других угодий во многом определяет эффективность и экологическую чистоту агроландшафтной системы земледелия. Поэтому структура землепользования и ее основа – почвенные ареалы занимают в данной системе важнейшие позиции, и с ними тесно связаны звенья системы земледелия. На ее основе формируются такие ведущие звенья системы земледелия, как природоохранная и почвозащитная системы землеустройства хозяйства, структура посевных площадей, система севооборотов, система окультуривания лугов и пастбищ, мелиоративные системы, комплекс по защите почвы от эрозии и т.д.

В зависимости от рельефа местности изменяются конструкции типов агроландшафтов, состав культур севооборота. Например, для степной и тропической зон саванн можно использовать следующие конструкции агроландшафтов.

Экологическая основа равнинного полевого агроландшафта может быть представлена полезащитными лесными полосами и структурой посевных площадей. В севооборотах возделываются любые культуры, в том числе и с низкой почвозащитной способностью, такие, как свекла, кукуруза, картофель, подсолнечник. Здесь применяют зональную технологию обработки почв и передовые приемы агротехники с чередованием в севообороте по годам направления вспашки и посева. Площадь пашни может достигать 75-80%.

В склоново-ложбинном почвозащитном агроландшафте (1° - 3°) со слабой эродированностью почв экологическим каркасом являются стокорегулирующие

лесные и буферные полосы, которые размещают поперек основного склона в зернопаровых и зерно-паропропашных севооборотах. Площадь пашни не более 60-70%.

Экологический каркас склоново-овражного буферно-полосного агроландшафта включает стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидротехническими устройствами, горизонтальные или наклонные валы-террасы на поле, распылители стока, водоотводящие и водозадерживающие валы-канавы. Почвозащитная технология обработки почв должна включать приемы глубокого рыхления, вспашки и щелевания поперек склона или по горизонталям. Площадь пашни не более 45-60%. На водосборах с сильными эрозионными процессами применяют контурно-полосное размещение культур.

Экологическая база балочно-овражного контурно-мелиоративного агроландшафта также включает стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидротехническими устройствами, горизонтальные или наклонные валы-террасы на поле, распылители стока, водоотводящие и водозадерживающие валы-канавы. Здесь применяют почвозащитные севообороты, в структуре которых не менее 50% занимают многолетние травы. Площадь пашни не должна превышать 35-50%. Все технологические операции в рабочих контурах и полосах выполняются преимущественно по горизонталям местности. При крутизне склонов более 8° рекомендуется сплошное залужение многолетними травами и лесолуговое освоение.

Экологическая база мелиоративно-ирригационного агроландшафта обеспечивается современной оросительной сетью, водосбросами и лесонасаждениями. Здесь проводится интенсивная обработка почвы, технология которой принята для орошаемых севооборотов (кормовые, овощные, специальные). Ирригационную эрозию не допускают с помощью нормированных поливов. Площадь пашни 60-80%.

При конструировании агроландшафтов следует учитывать коэффициент эрозионной устойчивости типов и подтипов почв, величину допустимых потерь от эрозии.

В адаптивно-экологическом земледелии отправным положением противоэрозионной организации территории является установление по категориям земель рациональных расстояний между водорегулирующими рубежами, которые одновременно служат границами между полями и рабочими участками в полевых и почвозащитных севооборотах, представляют рубежи первого порядка и являются начальными линиями обработки почвы. Ширину рабочих участков по линии стока или ширину ландшафтной полосы следует устанавливать дифференцированно в зависимости от типов, подтипов почв и категорий.

Учитывая эрозионную опасность отдельных полей и угодий (пар, поля под пропашными и поздними культурами, многолетние травы первого года использования), где на отдельных участках смыв и дефляция почвы превышают допустимый предел, при организации территории внутри ландшафтных полос формируют рубежи второго порядка в виде валов-террас, буферных полос из однолетних и многолетних трав. Ширину рабочих участков между валами-террасами и буферными полосами определяют, исходя из эрозионной опасности почвенного покрова и величины допустимых потерь почв.

Конструирование агроландшафтов и освоение систем земледелия на территории землепользования любой формы собственности создает благоприятные условия для предотвращения эрозии и дефляции почв, рационального использования влаги и почвенного плодородия.

Эффективность ведения хозяйства возрастает за счет более дифференцированного и продуктивного использования ресурсного потенциала в пределах выделенных типов агроландшафтов. Поэтому для каждого из них разрабатываются основные адаптированные компоненты и модульные схемы почвозащитных систем, включая организационно-хозяйственные, агролесомелиоративные и гидротехнические мероприятия.

Природоохранная направленность, экологическая безопасность и пониженная энергозатратность в ландшафтных системах земледелия реализуется путем создания надежного экологического каркаса, строгого ограничения максимальной площади пашни по типам агроландшафта (от 10 до 80%) и диффе-

ренцированного применения отвальных, безотвальных, плоскорезных, комбинированных, рыхлящих и мульчирующих обработок с факультативным почвоуглублением или щелеванием.

Первым звеном системы земледелия, закладывающим организационно-технологическую основу экологически безопасного использования агроландшафта, являются ландшафтно-экологическая организация территории землепользования хозяйства и система севооборотов. Система севооборотов призвана наиболее рационально размещать культуры на территории хозяйства с учетом экологических ограничений, а также оптимально использовать биологические особенности культур. Она не требует дополнительных капиталовложений, но агрономическая, экологическая и экономическая эффективность ее высока.

Неотъемлемой частью организации территории в условиях адаптивно-ландшафтной системы земледелия является также правильное размещение линейных рубежей (границ хозяйств, угодий и полей, дорог, лесных полос, канав, валов-террас и др.) для максимального регулирования стока воды и предотвращения смыва и размыва почвы. Они должны пролегать по горизонталям местности и уменьшать сток воды с пашни.

Размеры сторон (длину, ширину) и форму полей устанавливают исходя из требований производственного использования сельскохозяйственных машин, а также в зависимости от особенностей территориальных условий, площади полей и внутриполевой организации территории. Длина полей определяет собой длину рабочего хода машинотракторного агрегата и относительную величину потерь на холостые заезды и повороты машинотракторных агрегатов.

Поля необходимо формировать агротехнически однородными и равнокачественными по плодородию. По площади поля по возможности должны быть равновеликими.

Для разработки и конструирования оптимальных эрозионноустойчивых агроландшафтов необходимо осуществлять почвенно-эрозионное районирование территории с учетом природных и антропогенных факторов. В основу создания эрозионно устойчивых агроландшафтов должны быть положены сле-

дующие принципы: системный подход, зональность, адаптивность к условиям местности, комплексность, экологическая устойчивость, технологическая и техническая обоснованность, природоохранная направленность и социально-экологическая целесообразность.

Для поддержания экологического равновесия в используемых эрозионных ландшафтах наилучшей формой организации земельной территории необходимо считать землеустройство в рамках целых водосборных бассейнов с нарезкой полей севооборотов с учетом рельефа местности (крутизны, экспозиции склонов, состояния и пестроты почвенного покрова, подверженности водной и ветровой эрозии). Оптимальными формами организации территории могут быть контурная, контурно-полосная, а в районах со сложным рельефом и высоким удельным весом смытых почв – контурно-мелиоративная, способная улучшить эрозионно-гидрологический режим и значительно повысить продуктивность склоновых земель.

Основными свойствами агроландшафтов, оказывающими влияние на формы организации землепользования, являются: длина, крутизна, форма и экспозиция склонов, гидрологический режим; типы, разновидность и плодородие почвы, литология, удаленность от хозяйственных центров.

Дифференцированное использование каждого земельного участка с учетом особенности его рельефа, микроклимата, почвенного покрова, закономерности формирования склонового стока, смыва, гидрологического режима почвы и биоклиматического потенциала – одно из важнейших направлений противоэрозионного земледелия агроландшафтной системы.

Важнейшими элементами проектирования организации территории являются дифференциация сельскохозяйственных угодий по группам использования, а также оптимальное размещение их и севооборотов, элементов инженерно-биологического обустройства.

Оптимально спланированная в ландшафтно-экологическом отношении структура посевных площадей должна обеспечить высокопродуктивное ис-

пользование пахотных земель при оптимальном сочетании экономических и экологических целей и быть органически связана с системой севооборотов.

При оптимальной структуре посевных площадей решается задача малозатратного производства, в первую очередь, за счет повышения эффективности использования экологических ресурсов продуктивности пашни, таких, как тепло и влага.

При определении оптимального соотношения сельскохозяйственных культур наряду с хозяйственными потребностями, необходимо учитывать: адаптивную способность возделываемых культур, их почвозащитную роль и реакцию на степень эродированности почв; продуктивность различных видов, сортов и гибридов растений; средообразующие особенности культивируемых видов растений (влияние их на свойства почвы, фитосанитарные условия); особенности пахотных почв и социально-экономические ресурсы предприятия; дифференциацию почв по рельефу, почвенному плодородию, способам его восстановления.

В основу конструирования систем севооборотов должны быть положены неодинаковая почвозащитная способность полевых культур, а также деление пахотных почв на категории по интенсивности использования. При формировании почвозащитных севооборотов в них необходимо включать поля с почвами одинаковой степени эродированности для более равномерного повышения плодородия.

В специальные почвозащитные севообороты, как правило, вводят 3-4 поля многолетних трав с их использованием от 2 до 5 лет. С учетом специализации хозяйств почвозащитные севообороты могут иметь различное назначение, но во всех случаях севооборот прежде всего должен выполнять функции защиты почв от деградации.

На техногенно загрязненных почвах почвозащитный севооборот следует формировать из культур-фиторемедиантов. Технология фиторемедиации позволяет посредством введения в севооборот сельскохозяйственных культур интенсивного типа в течение одного вегетационного периода снижать уровень

загрязнения почвы. На загрязненных почвах выращивают специальные виды растений, которые накапливают ТМ в тканях и способствуют очищению. Большую роль играют севообороты, управляющие почвенными процессами.

Для условий Центрального района Российской Федерации О.А. Захаровой (2006) разработана следующая схема почвозащитного травянопропашного 5-ти польного севооборота: 1. Многолетние травы 1 г.п., 2. Многолетние травы 2 г.п., 3. Многолетние травы 3 г.п., 4. Кукуруза на ранний силос+озимая рожь на зеленый корм, 5. Овес. Внедрение севооборота позволило в условиях техногенного загрязнения агроландшафта улучшить агрохимические и мелиоративные показатели почвы, снизить содержание ТМ в почве, увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. За ротацию произошло снижение концентрации ТМ в почве за счет выноса их из почвы с урожаем.

Важную роль в почвозащитном земледелии играют возделываемые промежуточные культуры. Правильное использование возделываемых культур позволяет уменьшить развитие водной эрозии, повышает плодородие смытых почв, что обуславливается дополнительным покрытием почв растительностью, улучшением водно-воздушного режима, увеличением плодородия смытых почв при помощи улучшения структуры и аэрации, скважности и плотности сложения почвы, увеличения влажности, а также обогащения азотом.

В качестве пожнивных посевов на зеленое удобрение рекомендуется возделывать вигну, маш, горчицу белую, рапс, редьку масличную и сурепицу. Эти культуры дают большой урожай зеленой массы, которая отличается высоким качеством и используется на корм и как удобрение. При правильном их возделывании повышается культура земледелия и улучшается плодородие почвы, поскольку имеется дополнительный источник растительных остатков. Запашка органических остатков пожнивных культур улучшает агрофизические и агрохимические свойства почвы.

Таким образом, разработка и реализация адаптивных ландшафтных систем земледелия на деградированных почвах будет наиболее полно отвечать экономическим и экологическим интересам общества, будет способствовать обеспе-

чению сохранения воспроизводства плодородия почв и рационального использования природных ресурсов, и на этой основе росту производства сельскохозяйственной продукции для удовлетворения возрастающих потребностей населения развивающихся стран в продуктах питания, а промышленности – в сырье.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авксентьева Г.М.* Комплексные почвы Южного Заволжья и их изменение при орошении // Мелиорация земель Поволжья: Тезисы докладов Поволжского регионального совещания. – Волгоград, 1969. – С. 46-48.
2. *Бабаев А.Г., Дроздов Н.Н., Зонн И.С. Фрейкин З.Г.* Пустыни. – М.: Мысль, 1986. – 318 с.
3. *Большаков А.Ф.* Мелиорация почв солонцового комплекса северной части Прикаспийской низменности (по данным Джаныбекского стационара АН СССР): Тезисы докладов Поволжского регионального совещания) // Мелиорация земель Поволжья. – Волгоград, 1969. – С. 8-10.
4. *Варламов Н.Е.* Почвенно-мелиоративные особенности полупустынной зоны Нижнего Поволжья и их учет при проектировании // Мелиорация земель Поволжья. – Волгоград, 1969. – С. 94-96.
5. *Васильева С.Г.* Изменение свойств солонцового комплекса Малоузенской опытной станции под влиянием мелиоративных приемов // Мелиорация земель Проблемы деградации сельскохозяйственных земель России, их охраны и восстановления продуктивности / Под. ред. акад.РАСХН Г.А. Романенко. – М.: ВНИИА, 2005. – 60 с.
6. *Волобуев В.Р.* Расчет промывки засоленных почв. – М.: Колос, 1975. – 70 с.
7. Гидромелиоративные системы нового поколения. – М.: ВНИИГиМ, 1997. – 109 с.
8. *Гусиков А.Ф.* Водно-физические свойства почв солонцового комплекса Среднеахтубинской оросительной системы: Тезисы докладов Поволжского регионального совещания // Мелиорация земель Поволжья. – Волгоград, 1969. – С. 81-82.
9. *Грамматикати О.Г.* Перспективы использования минерализованных вод для орошения галофитов. Мелиорация и водное хозяйство. – 1990.

10. *Грамматикати О.Г., Алиев Р.П.* Использование галофитов как биологического жренажа при капельном орошении минерализованными водами плодовых деревьев на песках // Создание мелиоративных систем нового типа. – М., 1991.
11. *Гулюк Г.Г., Шуравилин А.В.* Эффективное функционирование дренажных систем на минеральных землях Нечерноземной зоны России. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 376 с.
12. *Демелон А.* Рост и развитие культурных растений / Пер. с фран. – М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, 1961. – 400 с.
13. *Дмитриев Е.А.* Теоретические и методологические проблемы почвоведения. – М.: ГЕОС, 2001. – 374 с.
14. *Дмитриев Е.А.* Закономерности пространственной неоднородности состава и свойств почв: Дисс. ... д.б.н. в форме научного доклада. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 51 с.
15. *Добровольский В.В.* От Килиманджаро до Рувензори. – М.: Мысль, 1977. – 111 с.
16. *Зайцева А.А.* Борьба с ветровой эрозией почв. – М.: Колос, 1970. – 152 с.
17. *Заславский М.Н.* Эрозия почв. – М., 1979. – 248 с.
18. *Заславский М.Н.* Эрозиоведение: Учебник для студентов географических и почвенных специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 320 с.
19. *Захарова О.А.* Научное обоснование экологически безопасного использования химически деградированных почв в условиях юга Нечерноземья: Автореф. дисс... д.с.-х. н. – М.: ГНУ ВНИМС, 2007. – 46 с.
20. *Захарова О.А.* Ресурсосберегающая технология восстановления деградированных почв. – Рязань, 2004. – 264 с.
21. *Зверева Е.А.* Влияние мелиоративных обработок на изменение свойств различных солонцов при орошении: Тезисы докладов Поволжского регионального совещания // Мелиорация земель Поволжья. – Волгоград, 1969. – С. 45-46.

22. *Зимовец Б.А.* Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. – М.: ВАСХНИЛ, 1991. – 248 с.
23. *Карманов И.И.* Оценка плодородия почв // Методика комплексной агрономической характеристики почв. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1985.
24. *Карманов И.И.* Общие проблемы оценки плодородия почв и особенности её оценки в условиях орошения // Плодородие почв: проблемы, исследования, модели. Научные труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1985. – С. 11-18.
25. *Карманов И.И.* Почвено-климатические ресурсы СССР // Научные основы современных систем земледелия. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1985. – С. 8-39.
26. *Ковда В.А.* Минеральный состав растений и почвообразование // Почвоведение. – 1956. – № 1. – С. 7-38.
27. *Ковда В.А.* Общность и различия в истории почвенного покрова континентов (к составлению почвенной карты мира) // Почвоведение. – 1965. – №1. – С. 4-20.
28. *Ковда В.А.* Основы учения о почвах. – М.: Наука, 1973. – Кн. 1. – 446 с.; Кн. 2. – 467 с.
29. *Ковда В.А.* Аридизация суши и борьба с засухой. – М.: Наука, 1977. – 270 с.
30. *Ковда В.А.* Управление продуктивностью, стабильностью агроэкосистем. Пущино, 1980. – 23 с.
31. *Ковда В.А.* Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. – М.: Наука, 1981. – 184 с.
32. *Ковда В.А.* Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв. – М.: Колос, 1984. – 304 с.
33. *Ковда В.А.* Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 264 с.
34. *Ковда В.А.* Живое вещество, биосфера и почвенный покров планеты // Почвоведение. – 1991. – С. 5-15.

35. *Кочетов И.С.* Агроландшафтное земледелие и эрозия почв в Центральном Нечерноземье. – М.: Колос, 1999. – 224 с.
36. *Куст Г.С.* Опустынивание: Принципы эколого-генетической оценки и картографирования. – М.: МГУ, 1999. – 362 с.
37. *Мажайский Ю.А.* Экологические факторы регулирования водного режима почв в условиях техногенного загрязнения агроландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 227 с.
38. *Мажайский Ю.А., Гусева Т.М.* Тяжелые металлы в экосистемах водосборов малых рек. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 138 с.
39. *Минашина Н.Г.* Физико-химическая модель расчета нормы воды для промывки засоленных почв // Почвоведение, 1972. – №3. – С. 115-120.
40. *Минашина Н.Г.* Мелиорация засоленных почв. – М.: Колос, 1978. – 270 с.
41. Опустынивание земель и борьба с ним // РАСХН. Сибирское отделение, гну НИИ аграрных проблем Хакасии / Под. ред. В.К. Севастьянова и И.П. Свинцова. – Абакан: типография ООО «Фирма «Март»», 2007. – 327 с.
42. *Петров М.П.* Пустыни земного шара. – Ленинград: Наука. Ленинградское отделение, 1973. – 436 с.
43. *Процко М.Т.* Влияние некоторых способов химической мелиорации на свойства орошаемых солонцов Сарпинской низменности // Мелиорация земель Поволжья (Тезисы докладов Поволжского регионального совещания). – Волгоград, 1969. – С. 65-66.
44. Рекомендации по применению почвозащитных мероприятий на осушительных системах и прилегающих территориях. – М.: ВНИИГиМ, 1998. – 48 с.
45. *Розанов Б.П.* Основы учения об окружающей среде: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 376 с.
46. *Розов Н.И., Строгонова М.Н.* Почвенный покров мира (почвенно-биоклиматические области мира и их агроэкологическая характеристика). – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 290 с.

47. Толчальников Ю.С. Эрозия и дефляция почв. Способы борьбы с ними. – М.: Агропромиздат, 1990. – 158 с.
48. Томпсон Л.М., Троу Ф.Р. Почвы и их плодородие / Пер. с англ. – М.: Колос, 1982. – 462 с.
49. Хитров Н.Б. Деградация почвы и почвенного покрова: понятия и подходы к получению оценок / Антропогенная деградация почвенного покрова и меры её предупреждения // Тезисы докладов Всероссийской конференции 16-18 июня 1998. Т. 1. – М., 1998. – С. 20-26.
50. Хохлова О.Б. Повышение плодородия мелопродуктивных и деградированных почв удобрительно-мелиорирующими смесями на основе сапропелей: Автореф. дисс... д.с.-х. н. – М.: ВНИИГиМ, 2007. – 47 с.
51. Поволжья. – Волгоград, 1969. – С. 15-16.
52. Худолей В.В., Мизгирев И.В. Экологически опасные факторы. – СПб.: Банк Петровский, 1996. – 186 с.
53. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. – М.: Агроконсалт. 1999, – 176 с.
54. Шамсутдинов З.Ш., Савченко И.В., Шамсутдинов Н.З. Галофиты России, их экологическая оценка и использование. – М., 2000.
55. Шиятый Е.И. Структура и скорость ветра над шероховатой поверхностью почвы // Вестник сельскохозяйственной науки. – Алма-Ата, 1965. – №10. – С. 15-23.
56. Шиятый Е.И. Эродируемость южных карбонатных черноземов в зависимости от шероховатости почвы // Вестник сельскохозяйственной науки. – Алма-Ата, 1965. – №12. – С. 47-61.
57. Шуравилин А.В., Кибека А.И. Мелиорация: Учеб. пособие. – М.: ИКФ «Экмос», 2006. – 944 с.
58. World desertification Atlas. – UNEP, Nairobi, Kenya, 1992. – 167 p.

ОПИСАНИЕ КУРСА И ПРОГРАММА

«Пути снижения деградации почв и современные технологии повышения плодородия почв в антропогенных ландшафтах субтропиче- ской и тропической зон »

Обязательный курс

Трудоёмкость научной работы – 144 час., в том числе лекции – 36 часов, практические (семинарские) занятия – 36 часов, самостоятельная работа – 72 часа, число зачётных единиц (кредитов): 4.

1. Описание курса (актуальность).

В связи с антропогенной деградацией почв интенсивно проявляющийся с конца прошлого века , проблема сохранения , повышения и расширенного воспроизводства плодородия становится все более актуальной . В документах конференции ООН по окружающей среде и развитию (РИО -ДЕ- ЖАНЕЙРО, 1992) приведены следующие данные по степени деградации почвенного покрова земли : крайняя степень деградации – 1%; сильная – 15% : умеренная – 46% и легкая – 36% площади. Процессы деградации почв получили широкое распространение как в гумидной, так и аридной зонах мира. По оценкам международной организации ФАО около 70 % площади суши земного шара представлены малопродуктивными угодьями, производительность которых ограничена почвенно-климатическими, рельефными или хозяйственными условиями . Одновременно увеличиваются потери продуктивных почв мира. За последнее 50 лет общая площадь продуктивных почв уменьшилась на 300 млн. га, а количество утраченного в результате процессов дегумификации органического углерода составило 38 млрд. т (Г.В. Добровольский, 2000) .

Учитывая масштабы антропогенной деградации почвенного покрова почву необходимо оградить от влияния процессов, разрушающих ее ценные свой-

ства – структуру, содержание почвенного гумуса, микробного населения и в тоже время от поступления и накопления вредных и токсичных веществ.

К числу известных и широко распространенных видов деградации почв можно отнести следующие:

- водная эрозия;
- дефляция;
- интенсивное сельскохозяйственное освоение и использование территории в результате которого происходит потеря гумуса пахотными почвами;
- засоление и снижение плодородия орошаемых почв;
- переувлажнение и заболачивание почв;
- химическая деградация;
- латеритообразование;
- ожелезнение;
- отакыривание;
- панциреобразование;
- загрязнение;
- закисление;
- осолонцевание;
- слитизация;
- гелеобразование;
- деструкция биоты;
- развитие процессов опустынивания земель

Борьба с предотвращением всех видов деградации почв возможно при реализации комплекса мер, обеспечивающих рациональное использование земельных угодий при расширенном воспроизводстве плодородия почв. Накопленный научно - производственный опыт обеспечивает комплекс крупномасштабных работ по восстановлению продуктивности деградированных почв в зависимости от почвенно-климатических условий зоны, форм хозяйствования и проявления негативных процессов.

Для эффективного использования деградированных почв широко применяется система агротехнических, фитолесотехнических и мелиоративных мероприятий самостоятельно или в сочетании с биологическими и химическими методами.

Как правило, общим для всех существующих приемов, методов, способов и технологий предотвращения и ликвидации деградированных почв остается рациональное природопользование, в основу которого заложены принципы адаптивно – ландшафтного землепользования. Однако все эти вопросы не подвергались системному анализу и обобщению и не нашли отражения в учебных пособиях. В настоящем учебном пособии обобщены теоретические и экспериментальные материалы по вопросам антропогенной деградации почв, энергосберегающих и экологически безопасных методах ее снижения и технологии повышения их плодородия применительно к ландшафтам тропической и субтропической зон.

2. Цель курса

Основной целью курса является ознакомление обучающихся с основными типами деградации почв, методами и способами её предупреждения, снижения и ликвидации деградационных процессов, технологиями повышения плодородия деградированных почв на основе адаптивно ландшафтного землепользования. Дать обучающимся новые теоретические знания и привить практические навыки, необходимые для решения важнейших вопросов, связанных с восстановлением производительного потенциала антропогенно деградированных и загрязненных почв современными способами и безопасными технологиями с целью последующего их эффективного использования и улучшения экологического состояния окружающей среды

3. Задачи курса

В процессе преподавания курса решаются следующие задачи :

- изучение причин, вызывающих деградацию и загрязнение почв и выявление влияния деградационных процессов на продуктивность и устойчивость антропогенных ландшафтов;
- изучение видов и типов деградации почв;
- изучение методов диагностики деградированных и загрязненных почв;
- изучение существующих методов и способов предупреждения и ликвидации деградационных процессов в антропогенных ландшафтах;
- овладение современными методами, направленными на предотвращение всех видов деградации почв в зависимости от природных факторов и вида антропогенного стресса;
- изучение методов и технологии повышения плодородия и экологически безопасного использования деградированных почв.

4. Методическая новизна курса

Программа курса базируется на анализе литературных данных и опубликованных учебных и методических пособий, а также на имеющихся нормативных материалах.

Большинство ранее разработанных методик впервые включены в учебный курс. Также в широком масштабе привлечены материалы по странам субтропического и тропического поясов, получившие теоретическое и экспериментальное обоснование в исследованиях учёных РУДН. Подобного учебного пособия и аналогов ему ранее не было. Курс предназначен для магистров следующих направлений: агропочвоведение, агроэкология, природопользование и мелиорация, рекультивация и охрана почв и др.

Курс состоит из лекций, практических (семинарских) занятий, самостоятельной работы, рефератов и курсовых работ.

Лекции проходят с использованием мультимедийных средств обучения. Практические занятия проводятся в трех формах :

1) с использованием современной приборной базы лабораторного оборудования РУДН;

2) решение практических задач по изучаемым темам;

3) обсуждение индивидуальных докладов студентов по изучаемым темам; Проводится два письменных тестирования на основе пройденного материала: внутрисеместровое и итоговое.

К материалам курса будет подготовлен для обучающихся четырехязычный (русский, английский, французский, испанский) справочник терминов.

5. Место курса в системе формируемых инновационных квалификаций

В системе формируемых инновационных квалификации рассматриваемый курс является новым и должен формировать профессиональный облик специалиста. Ранее он не входил в типовой учебной план подготовки специалистов по природопользованию и природообустройству . Ранее учебные пособия подобного плана издавались, но в них основное внимание уделялось максимальному получению сельскохозяйственной продукции, без учета ее качества, оптимального функционирования агроландшафта и изменения экологической ситуаций, а процессы деградации, протекающие в пределах агроландшафтов рассматривались схематично.

Нарастающее глобальное загрязнение почвенного покрова Мира ведет к образованию регионов экологического кризиса . В связи с этими в условиях интенсивного антропогенного воздействия на агроландшафты настоящее учебное пособие является актуальной работой, имеющей важное научно-практическое значение для подготовки специалистов инновационных квалификаций.

6. Требования к уровню освоения дисциплиной.

Студент должен знать:

- основные причины, вызывающие деградацию почв;
- основные индикаторы деградации почв и ландшафтов;

- влияние деградации на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур, а также на продуктивность и устойчивость антропогенных ландшафтов;
- влияние природных и антропогенных факторов на развитие эрозии почв;
- основные пути загрязнения почв и загрязняющие вещества;
- теоретические основы снижения деградации агроландшафтов и мероприятия по повышению почвенного плодородия;
- важнейшие способы и методы предупреждения и ликвидации деградационных процессов;
- современные методы повышения плодородия почв в агроландшафтах субтропической и тропической зон;
- влияние загрязнения почв на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции;
- современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур на деградированных малопродуктивных почвах.

Студент должен уметь:

- правильно оценить современное состояние почвенного покрова аграрных ландшафтов;
- классифицировать деградационные процессы;
- оценивать продуктивность ландшафтов;
- рекомендовать необходимые в данном случае мероприятия по предупреждению деградационных процессов;
- распознавать типы и причины засоления почв;
- вычислять коэффициенты поглощения растениями тяжёлых металлов;
- рассчитывать нормы промывки для засоленных почв и дозы химических мелиорантов для ликвидации осолонцевания;
- используют растения: фитомелиоранты и фиторемедианты для восстановления засоленных и загрязнённых почв.

Студент должен иметь навыки:

- практического применения технологии возделывания сельскохозяйственных культур на экологической основе;
- сохранение и повышение плодородия почв в различных природноклиматических зонах;
- организации мониторинга состояния агроландшафтных систем;
- борьбы с эрозией почв, засолением и с загрязнением почвенного покрова различными токсикантами;
- использование мелиоративных технологий на переувлажнённых и заболоченных землях.

Студент должен владеть основными понятиями и терминами по проблеме деградации агроландшафтов и современным технологиям повышения плодородия почв субтропической и тропической зонах.

7. Новизна курса

В учебном пособии изложены новые научные данные по антропогенной деградации почвенного покрова, рассмотрены новые методы и технологии восстановления деградированных почв и повышения их плодородия на основе адаптивно-ландшафтного землепользования, разработана концепция научно-теоретических принципов формирования оптимального агроландшафта, с использованием биологических методов. Приведен новый термодинамический подход к решению проблемы расширенного воспроизводства почвенного плодородия . Установлено, что процессы деградации, протекающие в пределах агроландшафтов, являются проявлением разрушающего влияния потоков вещества и внешней энергии на внутренние механизмы саморегуляции природных и природно-хозяйственных систем . Рассмотрены современные методы предотвращения антропогенной деградации почвенного покрова с использованием организационных, агротехнических, фито-лесотехнических, мелиоративных и иных приемов и современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур на экологической основе .

В России подобные материалы практически не издавались, а в опубликованных учебно-методических изданиях недостаточно или отсутствуют материалы о современных методах диагностики и технологиях борьбы с деградацией почв. Что касается зон субтропического и тропического пояса то таких обобщённых сведений не имеется вообще.

8. Тематический план учебной дисциплины

Структура учебной дисциплины включает 3 раздела и 18 тем. В первом разделе рассматривается 4 темы, во втором – 9 и в третьем – 5 тем.

Раздел 1. Теоретические основы снижения деградации почв и мероприятия по повышению почвенного плодородия агроландшафтов.

Тема 1. Современное состояние почвенного покрова аграрных ландшафтов субтропиков и тропиков.

Содержание органического вещества в почвах и вопросы его трансформации. Сохранение азота в почвах и система удобрений. Система защиты почв (лесные и многолетние насаждения, севообороты, организация территории бассейна, система обработки почвы).

Тема 2. Процессы деградации почвенного покрова субтропической и тропической зон.

Понятия деградации. Распространение деградационных процессов в мире. Природные и антропогенные причины, вызывающие проявление деградационных процессов. Основные типы деградации почв и ландшафтов. Классификация деградационных процессов. Основные индикаторы деградации почв и ландшафтов.

Влияние деградации на состояние окружающей среды и производительность почв почвенного покрова.

Тема 3. Категории деградированных почв субтропической и тропической зон.

Влияние деградационных процессов на продуктивность и устойчивость антропогенных ландшафтов. Оценка продуктивности ландшафтов основных природных зон.

Тема 4. Система мероприятий по снижению опасности проявления деградации почвенного покрова субтропической и тропической зон.

Существующие методы и способы предупреждения и ликвидации деградационных процессов в антропогенных ландшафтных. Мероприятия по снижению загрязнений почв.

Раздел 2. Техногенное воздействие на агроландшафты.

Тема 5. Основы ландшафтной организации использования территории водных бассейнов

Организация мониторинга за состоянием ландшафтных систем и основные направления улучшения плодородия почв.

Регулирование загрязнений тяжёлыми металлами, пестицидами.

Тема 6. Водная эрозия почв и поверхностный смыв.

Влияние природных факторов на развития эрозионных процессов. Влияние уклонов на формирование эрозионных процессов. Ирригационная эрозия и методы её предотвращения.

Тема 7. Дефляция почв.

Факторы дефляции почв. Оценка опасности дефляции почв. Предотвращение дефляции почв.

Тема 8. Опустынивание земель.

Процесс аридизации территории. Природные и антропогенные факторы, оказывающие влияние на опустынивание. Опустынивание как глобальный процесс деградации экосистем. Меры борьбы с опустыниванием и меры по оптимизации природопользования.

Тема 9. Химическая деградация почв. Засоление и осолонцевание почв.

Типы и причины засоления. Распространение засоленных и щелочных почв. Мероприятия по снижению химической деградации почв.

Тема 10. Загрязнение почвенного покрова.

Основные пути загрязнения почв и ландшафтов. Загрязняющие вещества и их роль в биологическом и геологическом круговоротах. Влияние загрязнения почв на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Коэффициенты поглощения сельскохозяйственными растениями тяжелых металлов.

Тема 11. Переувлажнение и заболачивание почв в результате антропогенной деятельности.

Причины переувлажнения почв Особенности болотообразования. Меры по регулированию водного режима почв.

Тема 12. Биологические виды деградации почв.

Уменьшение численности и видового состава почвенной биоты. Снижение биологической активности почв. Биологическое загрязнение почв.

Тема 13. Энергетический тип деградации

Дегумификация, отработка торфа, сведения леса, опустынивание. Энергетический подход к оценке деградации почв.

Раздел 3. Приёмы повышения плодородия почв в антропогенных ландшафтах.

Тема 14. Современные методы предотвращения эрозионных процессов.

Гидротехническая защита эрозионно опасных земель. Роль лесомелиорации в предупреждении и ликвидации эрозионных процессов.

Тема 15. Борьба с засолением и осолонцеванием земель.Промывки и их расчет.

Промывные режимы орошения. Химическая мелиорация почв для предотвращения и ликвидации осолонцевания. Химмелиоранты и расчеты их доз.

Тема 16. Современные мелиоративные технологии для ликвидации переувлажнения и заболачивания почв.

Дренаж. Новые технологии устройства дренажа.

Тема 17. Фитомелиорация засоленных почв.

Фиторемедиация загрязненных земель. Основные культуры фитомелиоранты и фиторемедианты. Технологии восстановления земель с применением культур фитомелиорантов.

Тема 18. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур на экологической основе.

Почвозащитный севооборот. Размеры полей севооборота. Современные агротехнические приемы при возделывании отдельных сельскохозяйственных культур.

9. Содержание разделов дисциплины.

Раздел 1. Теоретические основы снижения деградации почв и мероприятия по повышению почвенного плодородия агроландшафтов.

Современное состояние почвенного покрова аграрных ландшафтов субтропиков и тропиков. Почвообразовательный процесс и его слагаемые. Плодородие почв. Динамика органического вещества в почвах. Влияние природных условий зон тропического и субтропического пояса на характер и скорость гумусообразования. Роль гумуса в обеспечении растений необходимыми для их питания соединениями. Экологическая роль гумуса в агроценозах. Роль гумуса в сорбции гербицидов и в снижении токсического действия тяжёлых металлов. Факторы оказывающие отрицательное влияние на снижение содержания гумуса в почвах. Дегумификация почв, минерализация гумуса, ухудшение гумусового содержания почв под воздействием приёмов интенсификации. Применение монокультур. Влияние длительного хозяйственного использования на обеднение гумусом пахотного слоя почв. Потери запасов гумуса за счёт сокращения объёмов внесения органических и минеральных удобрений, уменьшения объёмов добычи торфа, сапропеля и других местных удобрений для сельского хозяйства. Процесс снижения содержания гумуса в связи с нарушениями в проведении агротехнических мероприятий, составлении севооборотов и малой их насы-

щенности многолетними травами. Ухудшение свойств почв и разрушение почвенного покрова при неправильной организации территории.

Роль в структуре и обмене веществ растений макро- и микроэлементов и прежде всего азота.

Содержание азота в различных почвах и его сохранение. Требовательность растений к содержанию доступного азота. Факторы, ограничивающие эффективное использование азотных удобрений. Дробное внесение удобрений. Причины, лимитирующие эффективность действия повышающихся доз минеральных удобрений. Соотношение питательных элементов в питании растений. Причины, определяющие различную способность растений использовать минеральные соединения. Сбалансированное внесение в почву минеральных удобрений как фактор улучшения почвенного плодородия. Система защиты почв для создания бездефицитного баланса гумуса: нормированное внесение в почву органических и минеральных удобрений, севооборотов, насыщенных многолетними травами, современные системы обработки, обеспечивающие сохранение плодородного слоя почвы. Устройство лесополос, выполняющих почвозащитную и водоохранную функции. Роль лесных насаждений в сохранении и повышении плодородия почв. Значение правильной организации территории с учётом почвенных особенностей и рельефа местности в сохранении и повышении плодородия почв.

Процессы деградации почвенного покрова субтропической и тропической зон. Почвы подверженные процессом антропогенной деградации. Агрогенная деградация почв в различных зонах. Источники загрязнения почв.

Загрязнение почв сельскохозяйственного назначения элементами I, II, и III группы опасности. Обобщённый рейтинг наиболее опасных загрязнителей. Загрязнение почв радиоактивными веществами. Пестицидное загрязнение. Загрязнение источников вод хозяйственно-бытового назначения. Загрязнение водных стоков с сельскохозяйственных угодий. Влияние естественного радифона на почвы и сельскохозяйственные культуры. Выбросы ядовитых органических синтетических и природных соединений на почву в результате деятель-

ности металлургических, химических, нефтехимических предприятий, транспорта и других сфер антропогенной деятельности. Загрязнение почв стоками крупных животноводческих ферм. Загрязнение микотоксинами пищевой и кормовой продукции. Трансграничные выпадения ксенобиотиков из смежных стран. Дegradaция почв в результате стихийных природных явлений и нерегулируемой хозяйственной деятельности.

Дegradaция почвенного покрова в результате экстенсификации и ненормированного внесения химических средств.

Физическая и механическая, химическая и физико-химическая, биологическая, биологическая и биохимическая дegradaция почв. Бальный подход к оценке степени дegradaции почв. Моделирование дegradaционных процессов. Принципы моделирования, схемы построения и типизации моделей. Основные группы дegradaции почв, связаны с различными направлениями разрушений почвенного покрова и процессов, происходящих в почве и экосистемах. Дegradaция почв. Основные явления и процессы, которые вызывают дegradaцию почв и техногенные факторы антропогенного воздействия на почвенно-экологическую систему. Критерии оценки последствий техногенного воздействия на агроэкосистемы. Основные направления деятельности по охране окружающей среды в условиях техногенеза. Принципы реабилитации техногенно-нарушенных почв.

Категории дегradированных почв субтропической и тропической зон. Классификация процессов дegradaции почв. Устойчивость антропогенных ландшафтов к дegradaционным процессам. Факторы, обуславливающие переустройство природных ландшафтов. Локальные и – или региональные технологические прессинги на почвы и почвенный покров, превышающие допустимые пределы их устойчивости. Основные направления регулирования водного, воздушного и теплового режимов почв. Система нормирования качества природной среды. Оценка продуктивности антропогенных ландшафтов в тропическом и субтропическом поясе.

Влияние техногенного загрязнения на сферу агропромышленного производства. Воздействие выбросов предприятий промышленности, энергетики и других факторов техногенной природы на загрязнение почв. Воздействие тяжелых металлов на окружающую среду. Влияние состава тяжелых металлов на загрязнение почв в различных зонах тропического и субтропического пояса. Пути воздействия техногенных факторов и миграция загрязняющих веществ в почвах различных природных зон. Анализ причин, связанных с нарушением регламентов применения химических средств. Механизмы, направленные на обеспечение охраны почв сельскохозяйственного назначения в условиях техногенеза. Экологическая экспертиза – одна из главных функций государственной политики и управления природопользованием. Специальные системы ведения сельского хозяйства в зонах повышенного техногенного риска. Принципы реабилитации техногенно-нарушенных (загрязненных) территорий. Предотвращение и минимизация последствий техногенного воздействия на почву. Охрана особо ценных почв и продуктивных сельскохозяйственных угодий. Методология оценки риска для сельского хозяйства последствий техногенного загрязнения.

Существующие мероприятия по снижению опасности проявления деградации почвенного покрова субтропической и тропической зон. Мониторинг за состоянием почв подверженных деградации и прогнозирование тенденций изменения агроландшафтов. Потребление и рациональное использование минеральных и органических удобрений. Использование средств защиты растений: пестицидов, биологических методов и др. Утилизация непригодных к дальнейшему использованию пестицидов и других химических средств. Технологии реабилитации загрязненных агроландшафтов. Освоение специализированных систем ведения сельского хозяйства. Подбор культур и сортов на загрязненных территориях применительно к субтропической и тропической зонам. Разработка специальных технологий для отдельных агроландшафтов. Почвозащитные системы земледелия. Создание ландшафтно-экологических контурных полос. Применение малозатратных технологий сохранения и повышения продуктивности лугов и пастбищ и залужения выбывающей из оборота пашни. Применение технологий

полостного подсева трав без нарушения почвенного покрова. Оптимизация соотношений в агроландшафте лесов и лугов, сенокосов, пашен, садов и т.д.

Раздел 2. Техногенное воздействие на агроландшафты.

Основы ландшафтной организации использования территорий водных бассейнов. Организационно-хозяйственные мероприятия на территории водных объектов. Размещение сельскохозяйственных угодий и лесных насаждений на водосборной площади. Размещение гидрографической, присетевой и водораздельных зон. Состояние природных ландшафтов. Снижение распада гумуса и приемы улучшения почв при ландшафтной организации территории на основе адаптивно-ландшафтного земледелия.

Водная эрозия и поверхностный смыв почвы. Развитие водной эрозии в пределах ландшафтных зон. Факторы, лежащие в основе процессов эрозии. Распространенность и интенсивность эрозионных процессов. Ухудшение свойств почв и разрушение почвенного покрова при плоскостной эрозии. Смыв почвы от стока ливневых вод. Разрушение верхнего перегнойно-аккумулятивного распаханного горизонта водной эрозией. Влияние крутизны склона на интенсивность эрозионных процессов. Диагностические показатели почв разной степени смытости. Вред, приносимый ирригационной эрозией.

Дефляция почв. Ущерб, приносимый дефляцией в тропической и субтропической зонах. Влияние почвенного покрова и особенностей обработки на интенсивность проявления ветровой эрозии. Пыльные бури и повсеместная ветровая эрозия. Показатели дефлированности почв.

Опустынивание земель. Сухость и опустынивание почв. Области аридных территорий в тропической и субтропической зонах и площади их распространения. Причины опустынивания почвенного покрова. Оценка механизма опустынивания, базирующаяся на принципах эколого-генетической оценки и картографирования. Эволюционно-экологическая концепция явления опустынивания. Оценка и картографирование опустынивания. Движущие силы и отличительные особенности эволюции почвенного покрова аридных территорий. По-

тенциально опасные направления деградации почвенного покрова. Способы количественной оценки ущерба сельскохозяйственному производству в результате опустынивания пахотных земель и пастбищных угодий. Разрушение аридных биогеоценозов и развитие процессов опустынивания. Глобальный и региональный подходы к борьбе с опустыниванием и деградацией почв. Мероприятия по борьбе с опустыниванием и предотвращением всех видов деградации почв. Реализация комплекса природоохранных мероприятий. Формирование устойчивого агроландшафта.

Химическая деградация почв. Засоление и осолонцевание почв. Происхождение засоленных почв и их распространение. Виды соленакопления. Перемещение солей под влиянием растворяющего действия воды. Миграция солей как единый геохимический поток. Первичное и вторичное засоление. Масштабы проявления процессов засоления и осолонцевания почв. Оценка площади распространения засоленных почв в странах субтропического и тропического пояса. Система мероприятий по снижению и предотвращению химической деградации почвенного покрова.

Загрязнение почвенного покрова. Основные явления и процессы, которые вызывают деградацию почв и агроландшафтов. Влияние особенностей агрогенной деградации почвенного покрова в тропической и субтропической зонах на урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции. Применение мелиорантов для получения экологически чистой продукции на загрязнённых почвах. Стратегия ведения сельскохозяйственного производства на техногенно-загрязнённых почвах.

Переувлажнение и заболачивание почв в результате антропогенной деятельности. Причины деградационных изменений: подтопление земель, заболачивание, обводнение, трансформация застойного типа водного режима, длительное затопление тяжёлых почв на рисовых системах, переувлажнение недренированных почв, возникновение верховодки на переуплотнённых почвах. Деградация осушенных торфяных почв, кислые торфяные почвы. Виды деградационных из-

менений почвенного покрова под влиянием гидрологического фактора. Мероприятия по регулированию водного режима преувлажнённых почв.

Биологические виды деградации почв. Деградация почвенной биоты. Восстановление деградированных почв посредством использования препаратов эффективных микроорганизмов. Энергетический тип деградации почв. Категории энергетической деградации земель. Оценка энергетического состояния почв. Нарушение биоэнергетического режима почв и экосистем. Энергетический подход к оценке деградации почв.

Раздел 3. Приёмы повышения плодородия почв в антропогенных ландшафтах.

Современные методы предотвращения эрозионных процессов. Организация территории как один из видов противозэрозионной защиты. Почвозащитная организация территории. Агротехнические противозэрозионные мероприятия. Почвозащитная бесплужная система земледелия. Агролесомелиорация как универсальная система противозэрозионной защиты почв. Гидротехническая защита эрозионно опасных земель.

Борьба с засолением и осолонцеванием почв. Реконструкция оросительных систем для ликвидации потерь фильтрационной воды. Применение малообъёмного орошения. Строительство глубокого дренажа. Промывка почвы и промывные режимы орошения. Внесение в почву химических мелиорантов.

Современные мелиоративные технологии для ликвидации переувлажнения и заболачивания почв. Применение осушительных систем, с помощью которых наряду с регулированием водного режима осуществляется регулирование внутрипочвенного воздуха. Осушительно-увлажнительные, осушительно-вентиляционные и осушительно-аэрационные системы. Новые технологии устройства дренажа. Бестраншейный дренаж. Система агромелиоративных мероприятий на осушаемых землях.

Фитомелиорация деградированных почв. Культуры фитомелиоранты и фиторемедианты, используемые на загрязнённых почвах. Влияние культур на

снижение загрязнения, а также на улучшение свойств и плодородия почв. Технология восстановления деградированных почв с применением культур фитомелиорантов.

Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур на экологической основе.

Адаптивно-ландшафтная система земледелия, её основные звенья и энергосберегающая роль. Применение почвозащитных севооборотов на антропогенно загрязнённых почвах. Оптимальные размеры полей севооборота. Новые энергосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур широкорядного и сплошного сева на почвах подверженных деградационным процессам.

10. Перечень практических (семинарских) занятий по рассматриваемым темам

1. Расчет содержания гумуса в различных агроландшафтах субтропической и тропической зон.
2. Статистическая оценка антропогенной деградации почв субтропической и тропической зон.
3. Определение устойчивости агроландшафтов к деградационным процессам.
4. Изучение системы мероприятий по снижению антропогенной деградации почв субтропиков и тропиков.
5. Организация мониторинга за состоянием почвенного покрова в агроландшафтах субтропической и тропической зон.
6. Расчет количества смываемой почвы при поверхностном смыве и ирригационной эрозии.
7. Изучение факторов дефляции и мероприятий по ее предупреждению.
8. Анализ современных проблем аридизации и опустынивание земель.
9. Определение типа засоления и суммы токсичных солей в почвах субтропической и тропических зон.

10. Определение степени загрязнения различных типов почв химическими веществами. Расчет норм внесения в почву сточных вод.
11. Установление причин переувлажнения и заболачивания земель в ландшафтах. Проведение водобалансовых расчетов почв.
12. Изучение и анализ биологических видов деградации почв.
13. Расчет энергии органического вещества при оценке деградации почв.
14. Гидротехнические методы защиты эрозионно опасных земель. Расчет террас на склоновых землях.
15. Расчет промывных норм при опреснении засоленных почв. Расчет норм внесения химических мелиорантов в солонцовые почвы.
16. Расчет дренажа на переувлажненных и заболоченных почвах.
17. Подбор сельскохозяйственных культур при фитомелиорации засоленных земель.
18. Разработка почвозащитного севооборота. Определение оптимальных площадей полей севооборота. Изучение современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

11. Расчет часов по дисциплине

Расчёт часов курса по темам и видам работ приведён в табличной форме.

№	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ	Всего часов (зачётных единиц)	Аудитория занятия, час		Самостоя- тельная работа, час
			в том числе		
			лекции	семинары	
	Раздел 1. Теоретические основы снижения деградации почв и мероприятия по повышению почвенного плодородия агроландшафтов.	32	8	8	16
1	Современное состояние почвенного покрова аграрных ландшафтов субтропиков и пропиков	8	2	2	4
2	Процессы деградации почвенного покрова субтропической и тропической зон	8	2	2	4

3	Категории деградированных почв субтропической и тропической зон	8	2	2	4
4	Система мероприятий по снижению опасности проявления с деградации почвенного покрова субтропической и тропической зон	8	2	2	4
	Раздел 2. Техногенное воздействие на агроландшафты.	72	18	18	36
5	Основы ландшафтной организации использования территории водных бассейнов	8	2	2	4
6	Водная эрозия почв и поверхностный смыв	8	2	2	4
7	Дефляция почв	8	2	2	4
8	Опустынивание земель	8	2	2	4
9	Химическая деградация почв, засоление и осолонцевание почв	8	2	2	4
10	Загрязнение почвенного покрова	8	2	2	4
11	Переувлажнение и заболачивание почв в результате антропогенной деятельности	8	2	2	4
12	Биологические виды деградации почв	8	2	2	4
13	Энергетический тип деградации	8	2	2	4
	Раздел 3. Приёмы повышения плодородия почв в антропогенных ландшафтах.	40	10	10	20
14	Современные методы предотвращения эрозионных процессов	8	2	2	4

15	Борьба с засолением и осолонцеванием земель. Промывки и их расчёт	8	2	2	4
16	Современные мелиоративные технологии для ликвидации переувлажнения и заболачивания почв	8	2	2	4
17	Фитомелиорация засоленных почв	8	2	2	4
18	Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур на экологической основе	8	2	2	4
	Итого, ч	144	36	36	72
	Зачётных единиц, баллов	100			

12. Тематика рефератов

1. 1 Антропогенная деградация почв тропиков и субтропиков.
2. 2 Влияние природных процессов на аридизацию и опустынивание почв в субтропической и тропической зонах.
3. 3 Деградация почв при орошении.
4. 4 Физическая и химическая деградация переувлажненных и осушенных почв.
5. 5 Химическая деградация почв и методы их детоксикации.
6. Деградация и разрушение почв под воздействием эрозионных процессов.
7. Влияние противозерозионного комплекса на повышение продуктивности почв в агроландшафтах.
8. Меры борьбы с деградацией почвенного покрова.

9. Современные способы и технологии, применяемые при восстановлении и повышении плодородия почв деградированных агроландшафтов.

10. Предотвращение деградации почв сельскохозяйственного назначения на основе адаптивно-ландшафтного землепользования.

13. Примерная тематика курсовых работ

1. Агроэкологическая оценка состояния пахотных земель в субтропической и тропической зонах.

2. Антропогенная деградация почв субтропической и тропической зон и разработка мероприятий по повышению их плодородия.

3. Химическое загрязнение почв в субтропической и тропической зонах и разработка мероприятий по восстановлению их плодородия.

4. Деграционные процессы на мелиорируемых почвах и разработка системы мероприятий по восстановлению их плодородия.

5. Разработка противоэрозионных мероприятий для ландшафтов, подверженных деградации.

6. Деградация и опустыивание почв аридной зоны и разработка способов и технологий по воспроизводству и повышению их плодородия.

14. Формы контроля знаний студентов.

В ходе освоения данного курса предполагается проведение постоянного мониторинга знаний студентов путём экспресстерования, на лекционных и практических (семинарских) занятиях.

От студентов требуется посещение лекций и семинарских занятий, обязательное участие в аттестационных испытаниях. Особо ценится активная работа на семинаре, решение задач, выступления по рефератам изучаемых тем, а также качество выполнения контрольных работ.

Для успешной работы в семинаре студент должен изучить методики расчётов, прочесть указанную преподавателем накануне литературу и активно участвовать в дискуссии, уметь изложить основные идеи прочитанной научной ли-

тературы и дать им аргументированную оценку. Главным критерием высокой экзаменационной оценки являются выступления студентов на семинарах (практических) занятиях. Оценка знаний студента проводится по бально-рейтинговой системе.

Бальная структура оценки:

Посещение занятий – 9 баллов.

Активная работа на практических (семинарских) занятиях, результаты коллоквиумов, научные сообщения, самостоятельное изучение тем и разделов, а также работа с научной литературой – 31 балл.

Внутрисеместровая контрольная работа – 25 баллов.

Итоговая контрольная работа – 35 баллов

Шкала оценок принимается следующей:

Отлично (5) при сумме баллов 91-100

Хорошо (4) при сумме баллов 75-90

Удовлетворительно при сумме баллов 57-74

Неудовлетворительная оценка ставится при количестве баллов менее 57.

Правило выполнения письменных работ.

Письменные контрольные работы проводятся дважды на протяжении семестра в сроки определённые деканатом. Перечень вопросов, выносимых на контрольную работу, даётся за неделю до аттестации. Контрольные вопросы, на которые предстоит отвечать студентам, определяются вариантно в день аттестации. Каждый вариант включает в себя один теоретический вопрос и одну практическую задачу или два теоретических вопроса. Время, выделяемое на написание контрольной работы -2 академических часа.

Академическая этика.

Обучение по данной дисциплине строится на основе сотрудничества, партнёрства и взаимоуважения между студентами, администрацией и препода-

вателями. Такое сотрудничество невозможно без соблюдения студентами общепринятых правил академической этики, которые столь же значимы, как и сам процесс обучения.

Лучшим критерием данного требования является честное и ответственное отношение к учёбе. Показателем качества выполняемой студентом академической программы являются итоговые оценки по курсам, которые адекватно отражают знания студента только в случае самостоятельно выполненной работы.

Считаем недопустимы:

- использование мыслей, идей, цитат и пр., принадлежащих другим людям, без ссылки на источник, а так же выдача чужой работы за свою (плагиат);
- списывание домашних заданий и во время экзамена, использование неразрешённых источников: пользование на промежуточном или итоговом экзамене неоговорёнными и непредусмотренными порядком проведения экзамена материалами, шпаргалками, записями лекций и пр.;
- получение или предоставление экзаменационных заданий до отведённого срока: получение или предоставление текстов, материалов, ссылок и другой информации в письменной или устной форме, а также предоставление другому лицу подобной информации до официально назначенной даты проведения экзамена;
- подсказывание другим студентам на промежуточном или итоговом экзамене, предоставление своей работы другим студентам на экзамене;
- предоставление подложных результатов проведённых исследований или вычислений, а также предоставление искажённой информации об источнике данных.

15. Литература основная

1. Агроэкологическая оценка земель проскийрование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред Кирюшина В.И. и Иванова А.Л. , М.: ФГНУ Росинформагротех – 2005- 783с.

2. Агроэкологические основы воспроизводства плодородия почв. Ижевск: Удмуртия, 1999. – 172с.
3. Гамзиков Г.П. , Кулагина М.Н Изменение содержания гумуса в почвах в результате сельскохозяйственного использования М.: ВНИИТЭИ агропром, 1992-49с.
4. Добровольский Г.В , Гришина Л.А Охрана почв М.: Изд-во МГУ, 1985-224с.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях.-М.: Мир, 1989. – 439с.
6. Ковда В.А. Аридизация суши и борьба с засухой М.: Наука, 1977-272с
7. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв М.: Изд-во МГУ, 1996- 335с.
8. Мажайский Ю.А. , Захарова О.А. Агроэкологическая оценка состояния пахотных земель и решение продовольственной проблемы - Рязань ГНУ МФ ВНИИГИМ; РГСХА, 2006 -118с.
9. Мажайский Ю.А., Тобратов С.А., Дубенок Н.Н., Погожин Ю.П. Агроэкология техногенно загрязненных ландшафтов – Смоленск, 2003 – 384с
10. Методологическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия. / Под ред А.Н. Каштанова, А.П. Щербакова, Г.Н. Черкасова Курс 2001- 259с.
11. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна. М.: Наука, 2006 – 223с.
12. Основы природообустройства: Учебное пособие под ред А.И. Голованова М.: Колос, 2001.
13. Рэуцек, Кырстя С. Борьба с загрязнением почв М.: Агропромаздат 1986 -221с.
14. Тяжёлые металлы в системе почва – растение – удобрение. /Под ред. М.М. Овчаренко. М., 1997. – 290с.

15. Учет и оценка природных ресурсов и экологического состояния территорий различного функционального использования. Методические рекомендации. Сост А.Г. Головин и др М.: ИМГРЭ, 1996-47с.

16. Черников В.А., Милащенко Н.З., Соколов О.А. Устойчивость почв к антропогенному воздействию. Книга 3. Пушкино: ОНТИ НЦБИ РАН, 2001. – 203с.

17. Шуравилин Д.В., Кибика А.И. Мелиорация. Учебное пособие М.: «ИКФ-ЭКМОС», 2006. - 944с.

16. Литература дополнительная.

1. . ГОСТ 17.14.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

2. Володин В.М. Агроэкологические основы регулирования почвенного плодородия. Автореф. дис....д.с-х.н. Минск, 1991. – 59с.

3. Герасимова М.М., Стоганова М.Н., Можарова Н.А., Трокофьева Т.В. Антропогенные почвы. М.: 2003 - 268с.

4. Глазовская М.А Геохимия природных теногенных ландшафтов СССР- М.: Высшая школа, 1998 - 328с.

5. ГОСТ 17.4.3 04-85 Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.

6. ГОСТ 17.43.06-80 Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических веществ.

7. Захарова О.А Ресурсосберегающая технология восстановления деградированных почв . Рязань, 2004-264с.

8. Карманов И.И. Плодородие почв СССР. – М.: Колос, 1980.

9. Каштанов А.Н. Защита почв от ветровой и водной эрозии. М.: Рос-сельхозиздат, - 1974-207с.

10. Комисарова И.Д. Гумификация органического вещества и плодородие почв. Тюмень: ТГСХА, 2003 – 14с.

11. Краснощёков Н.В. Механика почвозащитного земледелия – Новосибирск: Наука, 1984 - 201с.
12. Лыков А.М. Органическое вещество и плодородие почв в интенсивном земледелии. Обзорная информация. М.: ВНИИТЭИСХ, 1984 – 60с.
13. Мажайский Ю.А. Обоснование режимов комплексных мелиораций в условиях техногенного загрязнения агроландшфта – М.: 2002 -380с.
14. Мажайский Ю.А., Захарова О.А., Тобратов С.А. Агроэкологическая оценка загрязненных почв и мероприятия по их рекультивации – Рязань: Из-во БР «Мила», 2000 -76с.
15. Махонько Э.П. и др. О загрязнении почв промышленных районов тяжёлыми металлами. – Тр. ИЭМ, Вып.4(56), 1976. – с. 15-26.
16. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – 109с.
17. Методические указания по детоксикации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. (Овчаренко М.М., Шильников И.А., Аканова Н.И., Кирпичников Н.А.) М.: ВИУА, 2002, 15с.
18. Методические указания по обследованию и картографированию почвенного покрова по уровням загрязнённости промышленными выбросами. / Сост. Важенин И.Г. М.: ВАСХНИЛ, 1987. – 26с.
19. Миланщенко Н.З., Соколов О.А., Брайсон Т., Черников В.А. Устойчивое развитие агроландшафтов - Пущино ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. – Т.1. – Т.2. – 316с.
20. Петров М.П. Пустыни земного шара. Ленинград. «Наука», 1973 – 435с.
21. Пинский Д.Л. Ионообменные процессы в почвах. – Пущино, 1997, 166с.
22. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв. / Под ред. Д.С. Орлова и В.Д. Васильевской. – М.: МГУ, 1994, с. 105-125.

23. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов, В.В. Ефремов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 304с.
24. Томпсон Л.М., Троу Ф.Р. Почвы и их плодородие. М.: Колос, 1982.
25. Химия тяжёлых металлов, мышьяка и молибдена в почвах. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 206с.
26. Цинк и кадмий в окружающей среде. / Под ред. Добровольского В.В. М.: «Наука», 1992. – 197с.
27. Черемисинов Г.А. Эродированные почвы и их продуктивное использование. М.: «Колос», 1968. – 215с.
28. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжёлыми металлами. М.: «Агроконсалт», 1999. – 176с.
29. Яшутин Н.В., Бивалькевич В.И., Иост Н.Д. Системное земледелие: методология, научно-практические основы, опыт. / Гл. упр. сельского хозяйства и продовольствия Алт края. Ком. по земельным ресурсами и землеустройству Алт. края, Алт. гос. аграр ун-т Барнаул. ОАО Алтайский полиграфический комбинат, 1996-392с.