

gaudeamus

Г.В. Мотузова  
О.С. Безуглова

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ



Учебник  
для вузов

**Г.В. Мотузова**  
**О.С. Безуглова**

---

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ

*Рекомендован УМО по классическому университетскому  
образованию в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся  
по специальности и направлению подготовки высшего  
профессионального образования 013000 (020701)  
и 510700 (020700) «Почвоведение»*

---

**Москва**  
**Гаудеамус**  
**2007**

**Москва**  
**Академический Проект**  
**2007**

УДК 631.4; 574  
ББК 40.3; 28.080  
М 85

*РЕЦЕНЗЕНТИ:*

*доктор биол. наук, зав. кафедрой почвоведения факультета почвоведения МГУ проф. Владыченский А.С.;*  
*доктор сельскохозяйственных наук, проф. Российского государственного аграрного университета МСХА им. К.А. Тимирязева Савич В.И.*

**Мотузова Г.В., Безуглова О.С.**

М 85 Экологический мониторинг почв : учебник / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. — М. : Академический Проект; Гаудеамус, 2007. — 237 с. — (Gaudeamus).

ISBN 978-5-8291-0913-4 (Академический Проект)

ISBN 978-5-98426-061-9 (Гаудеамус)

Учебник содержит основные положения учения об экологическом мониторинге, о ведущей роли в нем почвенного мониторинга. Обсуждаются виды антропогенной деградации почв и особая роль химического загрязнения, виды и методы экологического мониторинга почв при различных видах антропогенной деградации, способы нормирования качества почв. Рассматривается организация почвенного экологического мониторинга в Российской Федерации и результаты его за первые годы XXI века.

Авторы учебника собственными исследованиями внесли вклад в развитие учения об экологическом мониторинге почв. Мотузова Галина Васильевна, доктор биологических наук, профессор факультета почвоведения Московского государственного университета, автор 6 монографий, 11 учебных пособий, словаря-справочника «Химическое загрязнение почв и их охрана». Безуглова Ольга Степановна, доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и агрохимии Ростовского государственного университета, автор восьми монографий, двух учебников.

Для студентов и аспирантов, обучающихся по специальности и направлению почвоведение, агрохимия, агрономия, экология, геоэкология, география, геохимия, природопользование, а также для широкого круга специалистов в области естественных наук.

УДК 631.4; 574  
ББК 40.3; 28.080

ISBN 978-5-8291-0913-4  
ISBN 978-5-98426-061-9

© Мотузова Г.В., Безуглова О.С., 2007  
© Оригинал-макет, оформление.  
Академический Проект, 2007  
© Гаудеамус, 2007

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

В государственных университетах Российской Федерации с середины девяностых годов двадцатого столетия специальная дисциплина «почвенный экологический мониторинг» введена в учебный план для студентов, получающих высшее профессиональное образование по специальности и направлению 01300 (020701) и 510700 (020700) «почвоведение». Целесообразность введения этой дисциплины обусловлена приоритетным значением экологических проблем для современного человека, реальностью угрозы сохранения жизни на планете, вызванной существенными нарушениями состояния окружающей среды, прогрессирующим потребительским отношением Человека к Природе.

Комплексная система слежения за качеством окружающей природной среды включает в себя как важнейшую составляющую почвенно-экологический мониторинг. В отличие от воды и атмосферного воздуха, которые являются миграционными средами, почва представляет собой наиболее объективный и стабильный индикатор техногенного загрязнения экосистемы. Она четко отражает эмиссию загрязняющих веществ и их фактическое распределение в компонентах ландшафта.

Мониторинг состояния почв часто ограничивают регулярными наблюдениями за химическим загрязнением почв. Однако помимо загрязнения имеется большой перечень других видов деградации почв, которые также являются объектами почвенно-экологического мониторинга.

Информационная база мониторинга плодородия сельскохозяйственных угодий должна включать в качестве главных компонентов следующие блоки: агроклиматологические данные, сведения об оролитогенной основе

агрландшафтов и организационно-хозяйственной основе землеустройства, агрохимические, агрофизические, гидрологические характеристики почв, данные по эрозионному состоянию территорий землепользования, сведения по применению удобрений и основных химических мелиорантов, загрязнению почв и продукции растениеводства тяжелыми металлами и радионуклидами, а также использованию земель, их продуктивности и качеству растениеводческой продукции.

Число природоохранных организаций в стране растет. Общество нуждается в специалистах, способных на должном уровне проводить контроль состояния окружающей среды.

## ГЛАВА 1

# РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ

### 1.1. Понятие об экологии

Экология — наука о взаимоотношениях между живыми организмами и окружающей средой (от греческого *oikos* — дом, жилище). Термин предложен в 1869 году немецким естествоиспытателем Э. Геккелем (1834 — 1919). В буквальном смысле экология — это наука о живых организмах в своем доме, об их взаимоотношениях со средой обитания, в том числе о взаимоотношениях человека с окружающей средой. Иными словами, экология — наука об экосистемах. Главное содержание этого понятия заложено в сочетании слов «эко» и «система». Это значит, что эта наука изучает живые организмы и внешнюю среду не изолированно друг от друга, а в постоянном взаимодействии. Ведь главной характеристикой любой системы является взаимосвязь ее компонентов. В наиболее полной мере эта взаимосвязь проявляется в экосистеме.

Живая материя имеет несколько иерархически связанных уровней организации: молекула, клетка, орган, организм, популяция, биоценоз, биосфера. Результат взаимосвязи состояния живой материи с окружающей средой может проявляться на любом уровне организации жизни. Окружающая среда — часть природы, непосредственно окружающая любой вид живых организмов, все то, среди чего они живут. Это те природные тела и явления, с которыми живое вещество находится в прямых или косвенных отношениях. Понятия «окружающая среда», «внешняя среда», «природная среда», «среда обитания» объединены главной идеей об их естественной взаимосвязи с живыми организмами.

Окружающие среды разнообразны по своей природе: водная, воздушная, почвенная, биотическая (ее представ-

ляют другой или другие организмы, взаимодействующие с данным организмом). Эти среды обитания обеспечивают свет, тепло, воду, воздух, питание, то есть все необходимое для живых организмов. Это экологические факторы, так как они создают условия существования живых существ, от них зависит их нормальное существование. Экосистемы могут быть разных размеров, от муравейника до биосферы — глобальной общепланетарной экосистемы. Биogeоценоз представляет собой частный случай, определенный ранг экосистемы. Нормальное функционирование экосистемы любого уровня возможно лишь при гармоничной эволюции ее взаимосвязанных компонентов: живых организмов и окружающей среды.

Настоящее время характеризуется усиливающейся экологизацией общества. Экология общая как биологическая наука распалась на ряд научных отраслей и дисциплин, появились и новые направления. В основе тех и других лежат фундаментальные положения общей экологии. По размерам объектов изучения экология делится на аутоэкологию (организм и его среда), популяционную экологию (или демэкологию) (популяция и ее среда), синэкологию (биотическое сообщество и его среда), географическую (или ландшафтную) экологию (биogeосистемы и их среда), глобальную экологию (учение о биосфере). По предметам изучения экологию подразделяют на экологию микроорганизмов, грибов, растений, животных, человека. По природным средам различают экологию наземных экосистем, пресных водоемов, морей и океанов. Среди этих разделов найдет место раздел, который можно назвать экологией почвы.

По видам воздействия на организмы выделяют экологию промышленную, сельскохозяйственную и пр. Когда говорят о химической экологии, имеют в виду дисциплину, предметом исследования которой являются химические взаимодействия, связанные с жизнью, а о геохимической экологии-химической взаимосвязь организмов и окружающей среды. По подходам к изучению различают экологию аналитическую и динамическую. С точки зрения фактора времени рассматривают экологию историческую и эволюционную.

Важнейшим и наиболее сложным направлением исследований в общей экологии является экология человека. Ее разделы включают аутоэкологию, демэкологию, медицин-

скую экологию. Социальная экология — наука, изучающая взаимоотношения человеческого общества (личности, социальных групп, человеческих популяций, человечества) с различными средами, окружающими человека (географической, социальной, культурной). Экология города нередко рассматривается как частный случай различных направлений экологии. В рамках социальной экологии разрабатываются как основы рационального природопользования и охраны природы, так и основы защиты социально-психологической личности. На этой основе формируется государственная и глобальная экополитика.

## 1.2. Прямые и обратные связи природы и общества

Экосистемы любых размеров объединяет наличие прямых и обратных связей между их составляющими. Проявляются они следующим образом; совокупность природных сил, явлений природы, вещества и пространства, воздействует на живое вещество, которое, в свою очередь, влияет на окружающую его среду. Человек, будучи самым сильным действующим фактором на планете, одновременно является источником самой мощной ответной реакции внешней среды на любое его действие. Эта реакция может сопровождаться цепочкой таких последовательных и взаимообусловленных изменений, которым под силу поставить под угрозу его собственное существование.

В чем выражается ухудшение состояния окружающей среды и с чем оно связано? Растет население планеты. К 26.02.2006 года численность населения нашей планеты достигла 6,5 млрд человек. Американские демографы подсчитали, что на планете каждую минуту на свет появляется 261 человек. Прогнозируемая динамика роста населения: к 2010 году численность населения составит 6,8 млрд человек, а к 2030 году — 8,2 млрд человек. Число людей на планете будет расти преимущественно за счет Китая и Индии, население этих стран на конец 2005 года составляло соответственно 1,31 и 1,08 млрд человек (20 % и 16 % от мирового населения соответственно). Но растет население на планете не повсеместно. Россия по численности населения на 2005 год занимала 8-е место на планете. К этому времени оно составляло 143,4 млн человек, что на 4,8 млн меньше, чем в 1995 году. Если тенденция снижения численности населения России сохранится, то, по мнению



специалистов, к 2050 году она составит 118 млн человек. Такая опасная тенденция есть совместный результат как социальных, так и экологических причин.

Растущее население в целом на планете требует дополнительных средств существования, что неизбежно ведет к наращиванию производства. Надо заметить, нагрузка на природу растет даже при условии сохранения прежних темпов роста производства, однако в условиях технического прогресса рост интенсивности хозяйствования неизбежен, следовательно, закономерно все более активное использование природы.

Усиление связей между населением, хозяйством и окружающей средой создает принципиально новое состояние природы. Человек все энергичнее завоевывает атмосферу, водоемы, все активнее включает в оборот новые пространства, например, ранее занятые лесами. Он вовлекает в хозяйственное использование новые земли, увеличивает нагрузку на почвы, особенно на почвы пахотных угодий.

Рост производств, обеспечивая выполнение обществом множества разнообразных хозяйственных задач, на определенном этапе неизбежно сопровождается негативными побочными экологическими явлениями. К ним относятся: 1) истощение природных ресурсов; 2) изменение природных ландшафтов; 3) загрязнение природной среды за счет рассеяния вещества в ходе различных производств; 4) изменение климата и нарушение теплового баланса планеты в связи с ростом потребления энергии.

По мнению экспертов, перечисленные нарушения состояния окружающей среды не единственные, но даже они могут не только существенно ухудшить жизнь на планете, но быть причиной ее прекращения. Всемирно известный Римский клуб<sup>1</sup>, рассчитав «модель развития», пришел к выводу, что наша планета не способна выдержать существующие темпы роста населения, сопровождающиеся одновременным ростом потребления, которое ведет к истощению природных ресурсов и к загрязнению среды.

---

<sup>1</sup> Римский клуб — международная общественная организация, объединяющая около ста предпринимателей, управляющих, политических деятелей, высокопоставленных служащих, доверенных экспертов, деятелей культуры, ученых из стран Западной Европы, Северной и Южной Америки и др. Свою деятельность Р.К. начал в 1968 г. Основная деятельность Р.К. сегодня направлена на разработку идеи о необходимости экономного расходования имеющихся ресурсов.

Академик Российской академии наук Н.Н. Моисеев полагал, что при современном уровне потребления земных ресурсов, биосфера в состоянии выдержать, не разрушаясь, население, численность которого в 10 раз меньше существующего сейчас на планете.

Катастрофа на планете возможна не столько из-за недостатка пищи, сколько из-за состояния биосферы в целом. Помимо пищи в необходимом количестве, человеку нужно ее безопасное качество, а также чистая воздушная среда, чистая вода. Их состояние уже сейчас вызывают тревогу. Большая опасность таится в том, что условия существования будущих поколений закладываются сегодня.

Долгое время наша планета справлялась с растущей антропогенной нагрузкой. Однако в последние годы отмечаются нарушения стабильности биосферы как глобальной экосистемы. Происходит истощение природных ресурсов. Истощаются возобновляемые запасы планеты. Катастрофически убывают запасы пресной воды. За последние десятилетия потребление воды в жилом секторе возросло более чем на 50 %. Современному человеку ежедневно требуется более 100 литров воды (нередко это количество измеряют 130 литрами). Помимо трех литров воды, необходимых человеку для питья, значительные объемы воды затрачиваются на бытовые и производственные нужды. Потребности в воде растут, ожидается, что в ближайшие десятилетия потребление воды вырастет на 30–50 %.

Истощаются возобновляемые и невозобновляемые ресурсы, резко меняется соотношение между их запасами и потреблением. Ориентировочные расчеты показывают, что запасов алюминия хватит на 3–4 века, железа на 1 век, а запасы других добываемых металлов, содержание которых в земной коре значительно ниже (Cu, Pb, Ni, Sn), могут иссякнуть быстрее, чем за 50 лет. Эти расчеты выполнены на основе уровня потребления природных средств самыми богатыми странами. Признавая, что эти уровни являются экстремальными, что различия в уровне развития между сильно- и слабо развитыми странами велики, нельзя не согласиться, что природных ресурсов с каждым годом на планете становится все меньше.

Истощаются источники энергии. К концу XX столетия 78 % мировой энергии вырабатывалось за счет сжигания ископаемого топлива, 11 % — сжигания отходов, примерно по 5 % вырабатывалось на ГЭС и АЭС. По данным

Межправительственной группы экспертов по климату ежегодное увеличение потребления энергии составляет примерно 0,7 %. Предполагается, что по этой причине уже к середине XXI века мировое потребление энергии удвоится. Причем этот рост будет идти преимущественно за счет ископаемого топлива. А ведь запасы ископаемого топлива никогда не могут быть восстановлены, они относятся к невозобновляемым ресурсам. Предположительно, подтвержденных запасов нефти и газа хватит примерно на полвека, угля — не менее, чем на три столетия. Эти расчеты основаны на допущении, что темпы добычи топлива будут неизменными, однако нет сомнений, что эти темпы будут расти за счет совершенствования технологий.

Активное сжигание топлива ведет не только к его расходу, но и к изменению климата. До недавнего времени предполагалось, что биосфера может справиться с ростом количества  $\text{CO}_2$  в атмосфере, на который планета отвечала увеличением объема биомассы. Но в конце XX века выбросы в атмосферу диоксида углерода за счет сжигания ископаемых видов топлива достигли 6 млрд т. За последние 100 лет концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере возросла на 10 %, и это стало проявляться не только на локальном, но и на глобальном уровне, что свидетельствует о размерах антропогенного воздействия на биосферу, превышающих природную устойчивость биосферы. Расчеты показывают, что, если не будет ограничений, ко второму десятилетию XXI века выбросы  $\text{CO}_2$  могут достигнуть 9,4 млрд т. Эксперты считают, что рост поступления антропогенного диоксида углерода в атмосферу ведет к повышению температуры на Земле до 0,3 градуса каждые 10 лет.

Больших надежд на широкое применение новых экологически безвредных источников энергии, которые могли бы заменить ныне действующие, пока нет. Отмечено расширение применения ветряных двигателей (Германия, Дания). Предполагается, что если покрыть только 2 % площади пустынь фотоэлементами, то они дадут энергии столько, сколько дает сжигание топлива сегодня. Но надеяться на широкое внедрение новых технологий получения энергии пока не приходится.

Человек изменяет существующий ландшафт. В ходе хозяйственной деятельности человека уничтожаются природные горные образования и создаются новые из отходов, шлаковых отвалов и терриконов, строятся гигантские

водохранилища и осушаются огромные пространства болот, уничтожаются леса, а на новом месте создаются лесополосы.

В этих условиях усилилось действие факторов, которые ведут к падению плодородия почв: эрозия, засоление, разрушение почв горных склонов. Эти процессы наблюдались и до начала широкого развития промышленного производства и усиленной химизации сельского хозяйства. Уже в Древнем Египте, в государствах Ближнего Востока и Средней Азии применялись приемы борьбы с этими негативными явлениями, хотя они и не представляли тогда большой опасности. Но в первые десятилетия XX века положение в большинстве развитых стран кардинально изменилось. Особенно усилилось загрязнение окружающей среды. Выбросы в атмосферу отходов промышленных предприятий, теплоцентралей, выхлопы авиационных и автомобильных двигателей формируют загрязнение биосферы на всех уровнях ее организации. Пахотные почвы загрязняются техногенными веществами, различными средствами химизации — ядохимикатами, пестицидами.

Из-за локального загрязнения окружающей среды отходами производства и их глобального рассеяния происходит загрязнение всех природных сред. В настоящее время во внешней среде зарегистрировано более 4 млн химических веществ, и ежегодно их количество возрастает на 6000 наименований, а число попадающих в организм человека ксенобиотиков достигает 100 тыс.

Ответной реакцией внешней среды является ухудшение здоровья населения. Так, в частности, реализуются прямые и обратные связи природы и общества. В материалах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) отмечается, что только на 10 % здоровье людей определяется качеством медико-санитарной помощи и на 20 % — наследственностью, а на 50 % — образом жизни и не менее чем на 20 % (по другим данным — на 25 %) — влиянием среды обитания. Специалисты по медицинской экологии утверждают, что самая большая опасность загрязнения биосферы заключается в генетических последствиях. Уже сейчас известно более 2500 видов нарушений здоровья, локализованных на геномном и хромосомном уровнях, более 80 % болезней обусловлено экологическим напряжением, 10 % новорожденных имеют отклонения от нормального развития, каждый 4-й житель Земли страдает аллергией или другими аутоиммунными

заболеваниями, около 50 % генофонда европейского населения не воспроизводится в следующем поколении из-за экологического напряжения.

В России в настоящее время востребованными оказались многие медико-экологические материалы (атласы, справочники и пр.), изданные на пороге перестройки. Они отражают, с одной стороны, экологические условия разных регионов бывшего СССР (загрязнение ландшафтов, их устойчивость к внешнему воздействию, источники загрязнения, концентрации различных загрязняющих веществ в почвах, в поверхностных водах, в питьевых водах, в атмосфере), а с другой стороны — демографические данные, показатели заболеваемости населения по крайней мере по 50 болезням. В качестве примеров можно назвать такие материалы: «Окружающая среда и здоровье населения России» (1995), «Ландшафтно-эпидемиологический атлас европейской части СССР, Урала и Крымской области» (1987), «Медико-географический справочник Карельской АССР» (1990), «Медико-экологическая карта Санкт-Петербурга» (1992) и другие. Эти материалы отражают не только природную эндемичность и очаговость болезней, геохимическую недостаточность или избыточность различных химических элементов в природных объектах, но и влияние загрязнения природной среды на здоровье людей. Интегральным показателем состояния здоровья населения является средняя продолжительность жизни. Последние годы в России она составляет в среднем 64—68 лет, у мужчин около 65 лет, у женщин — около 74 лет. По этому показателю качества здоровья более 100 стран в мире опережают Россию.

Итак, человек своей жизнью и деятельностью создал реальную угрозу экологического кризиса на планете. Экологический кризис более опасен, чем социальный или экономический. И только человек, будучи человеком разумным, в состоянии устранить угрозу продолжения собственной жизни на планете.

### 1.3. Учение В.И. Вернадского о ноосфере

Наука, выполняя свое социальное предназначение, задолго до наступления современного экологического кризиса предвидела его и даже предлагала выходы из него. Анализ истории развития естественных и гуманитарных наук показывает, каким путем человечество шло к пониманию идеи

о том, что процветание его невозможно без сохранения и развития биосферы, что Человек сам создает окружающую его среду, что Человек — это часть Природы. Наибольший вклад в развитие философского экологического сознания внесли российские ученые XIX — XX веков.

Еще в начале XX века русский мыслитель Н.Ф. Федоров, автор книги «Философия общего дела» (1913), писал: «Человек своей деятельностью способствует приближению конца, ибо цивилизация эксплуатирующая, а не восстанавливающая, не может иметь иного результата, кроме ускорения конца». И далее: «Остается только ждать и прогнозировать, когда же человечеству не станет хватать угля, железа, хлеба, чтобы, в конце концов, подчиниться природе и отдать ей свою жизнь». Уже в то время выход из создавшегося тупика виделся автору в совместном развитии общества и природы. Несмотря на религиозный характер произведений Н.Ф. Федорова, а может, именно благодаря этому, его можно считать одним из идеологов системы взглядов о тесной взаимосвязи человека и природы.

Для русской науки конца XIX — начала XX века характерно создание синтетических схем развития естествознания, обобщающих итоги, достигнутые в отдельных направлениях науки. Д.И. Менделеев (1869) разработал периодическую систему химических элементов. И.М. Сеченов (1878) доказал, что развитие человеческого организма протекает в единстве его плоти, духа и окружающей среды. В.В. Докучаев (1883) создал учение о почве, как основе, связывающей компоненты биосферы в единое целое. Тем не менее научные дисциплины развивались разрозненно, что не позволяло создать единую картину мира. Накопление эмпирического материала в области естествознания и развитие научной мысли привело к развитию учения о ноосфере, начало которому было положено В.И. Вернадским.

Владимир Иванович Вернадский родился в 1863 году, после окончания Петербургского университета занялся минералогией и геохимией, которая тогда делала первые шаги. Изучение законов геохимии и эволюции жизни привело его к пониманию роли живого вещества в жизни планеты. Он первым осознал, что появление на планете Земля живого вещества принципиально изменило состояние планеты, что живые организмы создали современный облик Земли. Это фундаментальная идея новой науки — биогеохимии, основатель которой — Владимир Иванович Вернадский,

ученик В.В. Докучаева. Живое вещество представлялось В.И. Вернадским как связующее звено, как буфер между космосом и косным (т. е. неживым) веществом Земли, как катализатор развития планеты.

Основные положения учения о биосфере В.И. Вернадский изложил в статьях 1916–1917 годов, подытожив многолетний опыт исследований, в обобщающем виде сформулировал в 1926 году в монографии «Биосфера». Он изложил гипотезу об эволюции биосферы. По В.И. Вернадскому, жизнь, возникшая 3,5–3,8 млрд лет тому назад<sup>1</sup>, ускорила все процессы, происходящие на поверхности Земли за счет способности живых организмов поглощать и утилизировать энергию космоса и трансформировать с ее помощью неживое вещество планеты. За счет энергии Солнца с участием живого вещества возникли и протекают на планете современные геохимические циклы химических веществ, в круговорот веществ вовлекаются все новые и новые их массы. Благодаря этим процессам сформировались толщи осадочных пород, а длительное преобразование их геологическими, геохимическими, биологическими процессами привело к созданию почвенного покрова.

Развивая учение о роли живых организмов в создании современного состояния планеты, В.И. Вернадский обосновал роль в развитии планеты самого сильного из них — Человека. Точно так же, как появление жизни изменило коренным образом состояние Земли, на определенной стадии развития планеты не меньшее воздействие оказало появление Человека. Носитель разума — Человек, изменил ход многих природных процессов на планете. Воздействие Человека на окружающую природу так велико и растет с такой скоростью, что он превращается в основную геологообразующую силу. Антропогенные изменения окружающей среды имеют глобальный характер. Человек воздействует на обмен атомов живого вещества с косной материей, он распространяет свое влияние на все химические элементы, изменяет их геохимическую историю. Равновесие в миграции элементов на планете, которое устанавливалось в течение геологического времени, в настоящее время нарушается. Растет обратимость геохимических циклов всех элементов, в круговорот включаются новые термодинамически неустойчивые со-

---

<sup>1</sup> Сейчас предполагается, что продолжительность жизни на планете почти в 3 раза больше.

единения. То есть, породив Человека, Природа создала новую движущую силу своего дальнейшего развития. Это значит, что именно Человек должен принять на себя всю ответственность за современное и будущее развитие природы.

Разум человека направляет развитие планеты, и однажды он приведет к переходу биосферы в ноосферу — сферу разума. Термин «ноосфера» самому В.И. Вернадскому не принадлежит: он был предложен французским ученым Э. Леруа в 1924 году во время обсуждения в Париже доклада В.И. Вернадского о роли человека в биосфере. Однако именно В.И. Вернадский в полной мере развил концепцию ноосферы, согласно которой ноосфера рассматривается как совместная эволюция живого и неживого. Владимир Иванович показал, что ноосфера — это результат деятельности Человека, это биосфера, преобразованная Человеком. В этом учении основным является тезис о том, что Человек — это естественная составляющая биосферы, он появился в результате ее эволюции, и на него, как и на остальные виды живых существ, распространяются все законы развития биосферы.

Однако если природная среда имеет собственные законы развития, устойчивости структуры и функции, то структура, функционирование и устойчивость такого искусственного образования, каковым является ноосфера, совершенно иные. Ее нормальное существование возможно при условии совместной эволюции биосферы и человека, так называемой коэволюции их. Козэволюция требует от человека новых принципов жизни, коренной перестройки самого его бытия, смену стандартов и идеалов. Решение частных проблем о безотходных технологиях, о локальном сохранении природной среды — это важно с экологической точки зрения, но явно недостаточно.

Все более очевидной становится необходимость создания новой концепции о месте Человека во Вселенной. Казалось бы, речь идет о далеком от жизни и чисто философском вопросе, но в действительности проблема эта как нельзя более прагматична. Это проблема выбора Стратегии Выживания Человека.

Только тогда произойдет эпохальное событие общекосмического значения — вступление Человека в эпоху ноосферы, когда Человек и окружающая его природа будут развиваться как единая система, стремящаяся обеспечить



гомеостаз (воспроизведение) и Человека, и Биосферы в целом, только тогда Земля станет новой планетой, и жить на ней будет уже новый Человек.

Путь к новому состоянию планеты будет непростым. Одним из первых шагов к нему будет экологический мониторинг, назначение которого — дать оценку состояния окружающей среды, оценку воздействия на нее человека, прогноз последствий этого воздействия.

#### **1.4. Понятие об экологическом мониторинге**

Слово «мониторинг» происходит от латинского слова «монитор», что обозначает «тот, который напоминает, предупреждает». Оно пришло в жизнь в конце 60 — начале 70-х годов и употреблялось тогда только в области экологии. Определение понятия экологического мониторинга дано в Программе ЮНЕСКО МАБ (Man and Biosphere) «Человек и Биосфера» (1968 г.): «Мониторинг рассматривается как система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, дающих информацию о состоянии окружающей среды с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза изменения в будущем параметров окружающей среды, имеющих значение для человека».

Оценке состояния окружающей среды люди стали уделять внимание в середине XX века. Прошло более полувека после выхода в свет работ В.И. Вернадского, гениально доказавшего, что потребительское отношение человека к природе неизбежно ведет к ее разрушению, прежде чем человек обратил внимание на состояние окружающей его природной среды и осознал, что ее сохранение есть залог продолжения его собственной жизни.

Проблема регулярного контроля состояния окружающей среды была сформулирована как межгосударственная и общепланетарная в 70-е годы XX века. В 1968 году в Париже состоялась конференция ЮНЕСКО, на которой были обсуждены основные положения Программы МАБ. Программа МАБ включала разработку рекомендаций по организации Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС). Главная ее задача: раннее обнаружение и предупреждение наступающих антропогенных изменений в состоянии природной среды, которые могут нанести вред (прямой или косвенный) благосостоянию людей. В 1972 году на Стокгольмской конференции ООН была принята про-

грамма СКОПЕ (Международного комитета ученых по окружающей среде).

В настоящее время термин «мониторинг» широко используется в разных целях, например, когда говорится о контроле состоянии здоровья, финансов, вооружения (мониторинг здоровья, мониторинг финансов и прочего).

Неограниченный в пространстве и времени экологический мониторинг призван выявить антропогенные изменения в состоянии окружающей среды, предупредить о ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов. Идеология экологического мониторинга в России сформулирована задолго до его организации В.И. Вернадским, А.Е. Ферсманом. Для научного обоснования его практических методов ценны работы И.П. Герасимова, для реализации этих методов и организации экологического мониторинга — работы Ю.А. Израэля, впервые возглавившего природоохранную службу в нашей стране.

Залог успеха экологического мониторинга в его комплексности, которая обеспечивается не только контролем состояния всех природных сред, но и установлением взаимосвязи между ними. Подход к экологическому мониторингу должен быть только экосистемным. Программа сегодняшнего экологического мониторинга предполагает контроль воды, воздуха, почвы. Особое место в системе экологического мониторинга отводится почвенному мониторингу. Это обусловлено уникальностью экологических функций почвы.

## **ГЛАВА 2**

### **МЕСТО ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ**

#### **2.1. Экосистемные функции почвы**

Экологические функции почвы рассматриваются в контексте функций биосферы в целом.

**Функция биосферы состоит в обеспечении жизни на Земле.**

**Фундаментальная функция почвы — создание в биосфере режима, обеспечивающего существование и воспроизводство живого вещества, т. е. обеспечивающего сохранение жизни на нашей планете. Эта функция обусловлена как положением почвы в зоне контакта Земли с Космосом, так и ее положением на стыке живой и неживой природы нашей планеты. Почва — это базовый компонент биосферы, ее важнейший ресурс, она является и фактором и условием существования биосферы в целом. Педосфера возникла и развивалась на суше параллельно с возникновением жизни и становления биосферы, начиная с докембрия и особенно после девона, когда растения завоевали сушу. Почвы прошлых лет многократно погребались или разрушались геологическими процессами, современный почвенный покров имеет абсолютный возраст от столетий и нескольких тысячелетий до 1 — 2 млн лет. Педосфера — это общепланетарная биоэнергетическая и биогеохимическая система, обладающая способностью саморазвития.**

**Фундаментальная функция почвы реализуется через обеспечение участия почвы в регулировании конкретных механизмов биосферных процессов, с которыми связано выполнение почвой ее основной глобальной функции. Функции почвенного покрова в биосфере уникальны, незаменимы. Все они взаимосвязаны, группировки их условны.**

Многочисленные функции можно подразделить на две группы — глобальные и экосистемные. (Добровольский, Никитин, 1990). **Глобальные функции** отражают биокосную природу почвы, взаимосвязь почвы с другими природными средами планеты, с космическими процес-

сами, отражают ведущую роль почв в формировании устойчивости функционирования биосферы. Среди экосистемных (биогеоценологических) функций почвы выделяют физические, химические, биологические и информационные.

Рассмотрим некоторые из экологических функций почвы и подчеркнем утилитарное значение отдельных из них.

Важнейшая функция почвы состоит в том, что она является областью концентрации живого вещества (концентрационная, аккумулирующая функция). Именно в почве укореняются наземные растения, в ней обитают мелкие животные, огромная масса микроорганизмов. В.И. Вернадский называл почву живой пленкой суши, а Б.Б. Польшов — оболочкой наибольшей плотности жизни. В грамме почвы содержатся миллиарды бактерий, сотни тысяч одноклеточных животных; обитатели почвы вносят основной вклад в разнообразие живых организмов на планете. Необходимые для живых организмов вода и элементы минерального питания, в доступной для них форме, концентрируются в почве в ходе процессов почвообразования. Создание биомассы растений, покрывающих планету, обеспечивается трофической функцией почвы. Почва обуславливает существование не только организмов, обитающих в этой экологической нише, но и других живых организмов, связанных с ней.

Биоэнергетическая функция почвы состоит в способности почвы запасать энергию. Почва является важнейшим условием фотосинтетической деятельности растений. Растения ежегодно фиксируют около  $n 10^{17} - 10^{19}$  ккал химически активной энергии (Ковда, 1985). Живое вещество неустойчиво, после отмирания быстро разрушается, минерализуется. Один грамм сухой биомассы при окислении производит 2–3 ккал тепловой энергии. Только небольшая часть образующегося продукта превращается в гумус, сохраняется в почве и обеспечивает ее биологическую продуктивность. Запас энергии в 1 г гумуса составляет 4,5–5 ккал. Почва удерживает в виде органических веществ (детрит, гумус) до  $n 10^{19} - 10^{20}$  ккал энергии. То есть почвенно-растительные экосистемы удерживают и будут удерживать длительное время накопленную за миллионы лет энергию. На этом основании почву называют «энергетическим банком» планеты (Добровольский, Никитин,

1986). В гумусе почв покрова Земли накоплено столько же солнечной энергии, сколько во всей надземной массе растительности. Эта энергия служит базой существования и деятельности растений, животных, микроорганизмов, является основой биологической продуктивности почв. Именно этот энергетический банк, например, многие века обеспечивает плодородие черноземов без пополнения его дополнительными элементами питания. Человек и современная цивилизация должны умело использовать этот энергетический ресурс.

**Почва обеспечивает постоянное взаимодействие большого геологического и малого биологического круговорота веществ.** Выветривание горных пород, трансформация и перенос продуктов выветривания сопряжены с процессами биогенной миграции химических веществ. Биогеохимические циклы важнейших биофильных элементов (углерода, азота, кислорода) осуществляются через почву. Она действует как аккумулятор этих элементов. Почва проявляет себя как мембрана, способная избирательно отражать, поглощать либо пропускать и трансформировать энергетические и вещественные потоки.

**Регулирующая функция почвы** состоит в том, что почва регулирует состав атмосферы и гидросферы, состав произрастающих на ней растений. Способность почвы выполнять регулирующую функцию непосредственно связана с процессами перераспределения химических веществ между всеми компонентами биосферы. Газообмен между почвой и атмосферой поддерживает состав атмосферного воздуха. Прямое участие почвы в преобразовании состава воздуха во многом определяется микроорганизмами почвы. Почва влияет на динамику тепла и влаги в приземных слоях воздуха. Из почвы в атмосферу идет поток различных газов, включая «парниковые» ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_x\text{O}$ ). Одновременно идет поглощение почвой кислорода для поддержания окислительных процессов. Фотосинтез, связывание углекислоты, фиксация азота, эмиссия кислорода, водорода, денитрификация, десульфирование, дыхание, окисление и возврат части углекислоты в атмосферу — все эти процессы, свойственные почвенно-растительным экосистемам, определяют локальные и глобальные циклы веществ в атмосфере.

Почвенный покров активно участвует в гидрологических циклах на планете. Они включают целый ряд процес-

сов. Почвы принимают влагу атмосферных осадков, конденсируют парообразную влагу. Водные запасы включаются в испарение и транспирацию. Эти процессы обеспечивают увлажнение приземного воздуха.

Влага, фильтрующаяся в глубь почвы, является растворителем многих компонентов почвенной толщи. Химический состав речных и грунтовых вод — это смесь подвижных продуктов почвообразования и выветривания.

Почвенная толща сорбирует и удерживает физиологически доступную растениям воду и растворенные вещества. Питая ими произрастающие на Земле растения, почва определяет и регулирует состояние последних.

## 2.2. Утилитарные функции почвенного покрова

Все перечисленные важнейшие биосферные функции почвы имеют, безусловно, значение для жизни человека, как биологического вида. Наибольшее утилитарное (практическое) значение почвы для жизни и деятельности человека имеют следующие функции: плодородие почвы, протекторная функция и медико-биологическая функция.

Плодородие почвы — условие жизни Человека, ее сохранения и поддержания. Именно с этой способностью почвы связано выращивание тех плодов, за счет которых живет Человек. И это будет продолжаться долго.

Мировой океан, занимающий около 71 % поверхности нашей планеты, по-видимому, еще не скоро сможет накормить население планеты. Плодородие обеспечивает утилитарное значение глобальной экологической трофической функции почвы и обеспечивает жителей планеты питанием более чем на 90 %. Высокая дисперсность почв, активная поверхность их тонкодисперсной части и поглотительная способность, обязательное наличие в почвах гумуса, запаса элементов питания, доступных для растений, — это важнейшие свойства, которые обеспечивают плодородие почвы. Эти свойства сформировались в результате выполнения почвой ее важнейших экологических функций: активности постоянных обитателей почвы — живых организмов; способности почвы накапливать энергию; протекания абиогенных и биогенных процессов трансформации минеральных и органических веществ, которые создают в почве оптимальное соотно-

шение ближнего и дальнего резервов соединений питательных элементов.

**Протекторная (защитная) функция почвы** непосредственно связана со способностью почвы регулировать состав атмосферы и гидросферы. Эта функция связана с разнообразием механизмов поглотительной способности почв, обязательным присутствием в них активных сорбентов различных химических веществ. Для экологического состояния почв имеет значение поглощение как необходимых для растений питательных элементов, так и загрязняющих веществ. Защитить сопредельные с почвой среды от загрязняющих веществ почва может, только поглотив эти вещества и удерживая их в слабоподвижном состоянии. Связывая загрязняющие вещества физически и химически, почва служит своеобразным фильтром, для загрязняющих веществ. За счет этого предотвращается или ограничивается поступление этих веществ в природные воды, растения, далее по пищевым цепочкам — в организм животных и человека. Устойчивость экосистемы к загрязняющим веществам обеспечивается прежде всего буферной способностью почв.

**Почва выполняет медико-биологическую функцию аналогично тому, как ее выполняют другие природные среды.** Она обусловлена влиянием почв, как и воды и воздуха, на здоровье людей. Ведь здоровье людей (как и состояние других живых организмов) не может не зависеть от той внешней среды, где они живут. Ряд заболеваний людей, причины которых ранее были неизвестны, оказались обусловленными определенными почвенными условиями: избытком или недостатком в них химических элементов, нарушением их соотношения в почвах, что, в свою очередь, оказывает влияние на состав питьевых вод. Наиболее широко известными примерами из этой области являются заболевания щитовидной железы, от которых страдает значительная часть населения планеты (зоб и базедовая болезнь), поражения зубной эмали (кариес и флюороз). Их список велик и продолжает расширяться. Предполагается наличие связи некоторых онкологических заболеваний людей с особенностями химических свойств почв регионов, где эти заболевания встречаются чаще. Клинические исследования позволили предположить повышенный риск этого заболевания с недостаточным содержанием магния в пище, что обусловлено низким содержанием этого эле-

мента в воде и почвах, а также нарушением соотношения в почвенном растворе между ионами Са, Mg, Mn.

На этом же основании более широкое географическое распространение рака желудка среди жителей Туниса, Египта, Афганистана по сравнению с жителями Англии, Франции специалисты предположительно связали тоже с неблагоприятным уровнем содержания и соотношения в воде и пище Са, Mg, Mn. Возможно, что это один из влияющих факторов, ведь условия жизни людей в двух названных группах стран существенно различаются и по другим показателям.

В совместной работе почвоведов и онкологов подобная закономерность была прослежена в разных регионах Ростовской области при сходстве прочих экологических условий.

Заболевания, связанные с аномальным содержанием химических элементов в окружающей среде, А.П. Виноградов предложил называть *эндемическими*, а территории с аномальным содержанием химических элементов в окружающей среде — *эндемическими провинциями*. В.В. Ковальский составил карту биогеохимических зон и провинций бывшего Советского Союза. На ней он выделил районы распространения ряда заболеваний человека и животных, обусловленных биогеохимическими свойствами почв и вод. Разгадка возникновения эндемических болезней позволила выработать меры нейтрализации этих явлений.

Почва обеспечивает «здоровье» и миллиардов микроорганизмов, которыми она заселена. Глобальное значение процессов, осуществляющихся почвенными микроорганизмами, трудно переоценить. Например, основным компонентом атмосферного воздуха является молекулярный азот (78,1 %). Запасы атмосферного азота практически неисчерпаемы. Растениям элемент необходим для создания биомассы, но усваивать его из атмосферы могут лишь их единичные представители. Динамическое равновесие соединений азота в системе почва – атмосфера обеспечивается почвенными микроорганизмами. Микроорганизмы почвы осуществляют азотфиксацию (восстановление молекулярного азота атмосферы до аммиака), а в процессе нитрификации и денитрификации образуют газообразные соединения азота.

Все микробиологические процессы протекают при участии специальных ферментов. Но ферментные системы микроорганизмов, которые регулируют все звенья этого



цикла, чрезвычайно чувствительны к почвенным условиям, что свидетельствует о значении медико-биологической функции почв.

В этом проявляются, в частности, естественная взаимосвязь утилитарных, экосистемных и глобальных функций почвы, условность их группировки, предпринятой для подчеркивания отдельных из множества свойств почвы — уникального природного образования.

Следует еще отметить, что в составе почвенной микрофлоры содержатся патогенные формы, вызывающие тяжелые заболевания, например, возбудители столбняка, сибирской язвы, злокачественного отека и некоторые другие. Ряд болезней человека и животных связан с животными, живущими только в определенных почвенных условиях. Например, грызуны и насекомые, живущие в песчаных и супесчаных почвах полупустынь и сухих степей, переносят такие болезни, как туляремия, чума.

Так как многие важные вопросы медицины и ветеринарии не могут быть решены без учета особенностей почвенного покрова, в рамках Международного общества почвоведов в 1986 году была организована рабочая группа «Почвы и геомедицина». Это создало предпосылки для выделения особого раздела в почвоведении — медицинского.

### 2.3. Экологические функции городских почв

В связи с ростом урбанизации на планете повысилось внимание к городским почвам. Отличие городских почв от почв природных ландшафтов в том, что их свойства формируются под влиянием антропогенных факторов. Но, как и природные, городские почвы являются биокосной многофазной гетерогенной системой, состоящей из твердых, жидких и газообразных компонентов, находящейся во взаимосвязи с сопредельными средами.

В городской среде почвы выполняют практически те же функции, что и в природных экосистемах (табл. 2.1).

С участием почв в антропоэкосистемах города протекают биогеохимические циклы различных химических веществ (природного и техногенного происхождения), в них происходит преобразование культурного насыпного слоя, трансформация поверхностных вод в грунтовые, они являются питательным субстратом для выращиваемых растений.

Таблица 2.1

Экологические функции городских почв  
(Почва, город, экология, 1997)

| Воздействие на компоненты урбаноэкосистемы  |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Вода  | Почва   | Воздух   | Биота  |
| 1. Перевод поверхностных сточных вод в грунтовые и их очищение<br>2. Защитный сорбционный барьер от загрязнения речных вод и водоемов | 1. Защитный барьер от вертикального проникновения химического и биологического загрязнения<br>2. Биогеохимическое преобразование грунтов, мусора и свалок | 1. Газопоглощающий барьер антропогенных газовых примесей: от автотранспорта, ТЭЦ, заводов<br>2. Регулирование газового состава атмосферы и ее очищения (выделение и поглощение почвой газов) | 1. Среда обитания макро-, микро-, мезобиоты<br>2. Основа биопродуктивности<br>3. Санитарный барьер |

Утилитарное значение имеют плодородие этих почв, пригодность их для произрастания зеленых насаждений, почвы служат банком для семян, регулятором газового обмена.

Особую значимость в урбанизированных ландшафтах приобретает протекторная функция почвы (рис. 2.1).

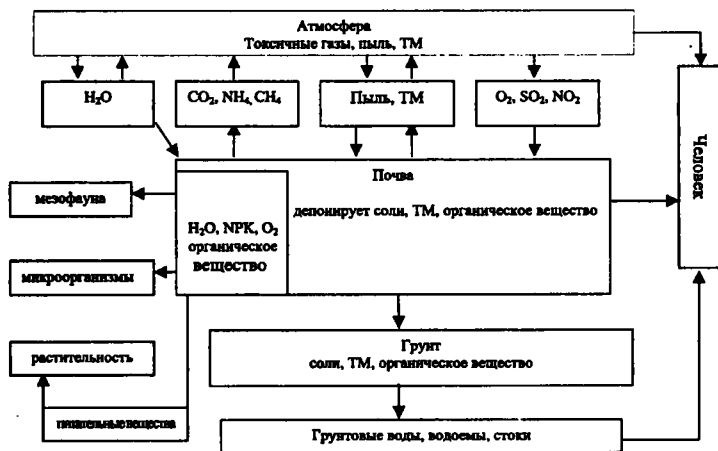


Рис. 2.1. Протекторные функции почвы в городской экосистеме  
(Почва, город, экология, 1997)

Благодаря специфическим биогеохимическим свойствам и огромной активной поверхности тонкодисперсной части почва превращается в «депо», задерживающее загрязняющие вещества, и одновременно становится одним из важнейших биогеохимических барьеров для многих из них (ТМ, пестицидов, нефтепродуктов и т. д.) на пути их миграции из атмосферы города в грунтовые воды и речную сеть.

#### 2.4. Особенности почвы как объекта мониторинга

Методология мониторинга любой природной среды определяется как специфическими свойствами каждой из сред, так и ее экологическими функциями. Для всех природных сред, и почв в том числе, взаимосвязь всех выполняемых ими функций естественна. Значимость экологических функций почв, как уникального базового природного объекта, который занимает центральное положение в биосфере, обуславливает специфические особенности экологического мониторинга почв, его отличие от мониторинга других природных сред.

Почвенный мониторинг должен обеспечить прежде всего контроль выполнения почвой ее утилитарных функций. А они у почвы, как уже отмечалось, уникальны. Незаменима функция почвы — ее плодородие. Соответственно, контроль сохранения в условиях антропогенного воздействия почвами физических, химических, биологических свойств, которые обеспечивают их плодородие, — это одна из важнейших специфических задач почвенного экологического мониторинга.

Также уникальна протекторная экологическая функция почвы. Выполняется она почвами благодаря их способности поглощать и удерживать загрязняющие вещества, защищая от них воду, воздух и растения. Соответственно, контроль эффективности почвы в ограничении миграции загрязняющих веществ в техногенно нарушенных ландшафтах — это одна из важнейших специфических задач почвенного экологического мониторинга. Однако ограничить миграцию загрязняющих веществ почва может лишь путем поглощения и прочного закрепления этих веществ почвенными компонентами. При оценке способности почв выполнять эту функцию имеем в виду, что при непрочном удерживании поллютантов они могут вызвать ухудшение

плодородия почв. Следовательно, контроль выполнения почвой и функции плодородия, и защитной функции должен быть комплексным.

**Медико-экологическая функция** различных природных сред, т. е. природных вод, воздуха и почв, состоит в том, чтобы обеспечить поддержание качества жизни для всех организмов, в том числе для человека. Но механизмы влияния на здоровье человека свойств воды и воздуха, с одной стороны, и свойств почв, с другой стороны, различны. Эти обстоятельства обеспечивают как общие, так и специфические черты методологии мониторинга разных природных сред. Общим является то, что контроль экотоксикологического состояния всех природных сред направлен на выявление ситуаций (явлений, причин), когда содержание контролируемых химических веществ в этих средах может быть опасным для живых организмов. Но контролируемые химические вещества потребляются живыми организмами из воды и воздуха непосредственно, а из почвы — через посредство контактирующих с почвой воды и воздуха. Влияние же свойств почвы на экологическое состояние взаимодействующих с ней воды и воздуха зависит непосредственно от прочности удерживания поллютантов почвенными компонентами. Прочность удерживания, в свою очередь, зависит от разнообразия видов связи химических веществ с этими компонентами, в чем проявляется экологическое значение полидисперсности, многофазности и гетерогенности почвенной системы.

Обнаруживается некоторое противоречие в оценке выполнения почвой ее разных экологических функций. Но это противоречие кажущееся. Оно состоит в следующем. С одной стороны, почва, защищая от загрязнения воду и воздух, поглощает загрязняющие вещества. С другой стороны, поглощенные почвой вещества могут отрицательно влиять как на количество получаемого урожая (на плодородие почв), так и на качество (загрязнение) урожая. Устранить такое противоречие можно, если принять во внимание разнообразие соединений контролируемых химических веществ (прочно и непрочно связанных). То есть с экологической точки зрения важно оценивать не только то, как много почва удерживает загрязняющих веществ, но и как прочно она их удерживает. Прочная фиксация поллютантов обеспечивает выполнение почвой ее защитной функции в отношении и вод, и воздуха, и растений. Непрочное

удерживание загрязняющих веществ почвенными компонентами может вести к созданию опасной экотоксикологической обстановки. Если при мониторинге вод и воздуха эффективны показатели общего содержания загрязняющих веществ в их составе, то при почвенном мониторинге необходимо оценивать как общее содержание этих веществ, так и содержание их подвижных (водно-миграционных и воздушно-миграционных) соединений.

Все вышесказанное говорит о том, что при экологическом мониторинге почв комплексным должен быть контроль выполнения почвой всех названных функций почвы.

# ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

### 3.1. Географические закономерности структуры почвенного покрова РФ

Почвенные ресурсы Российской Федерации богаты и разнообразны. Оценивая их экологическое значение, нужно отметить по крайней мере два аспекта. С утилитарной точки зрения важно, что на значительных территориях земли трудны для сельскохозяйственного освоения, поэтому в сельском хозяйстве используется относительно небольшая доля их. Доминирование же лесных угодий важно для оздоровления экологического состояния атмосферы не только в Российской Федерации, но и на сопредельных территориях евразийского континента.

Значительные площади в почвенном покрове РФ занимают малоплодородные подзолы (22 % от общей площади), оглеенные почвы (16 %). Почти 13 % приходится на дерново-подзолистые почвы, почти столько же — на бурые лесные и подбуры, вместе взятые. Горные почвы (горно-лесные, горно-степные, горно-луговые) занимают 9 %, оторфованные почвы — 7 % от общей площади земель. Черноземы занимают в нашей стране незначительные площади — менее 6 %. Остальные 10 % приходятся на серые лесные, луговые, аллювиальные, каштановые и другие.

Почти 80 % почв страны формируются в холодных гумидных условиях, из них 74 % почв испытывают влияние вечной мерзлоты (на 9 % площади она проявляется пятнами, на 21 % — спорадически и на 44 % общей площади вечная мерзлота сохраняется постоянно). Холодный климат, глубокое промерзание при суровых зимах, короткое лето определяют основные черты биохимических процессов в почвах, трансформацию и распределение в них органических веществ, активность в почвах микроорганизмов. На

больших площадях происходит накопление слабо разложившихся органических остатков, относительно широко распространены оторфованные горизонты и почвы.

В большей части территории количество атмосферных осадков превышает испарение. Излишняя влага ведет к распространению переувлажненных почв (13 %), мокрой тундры (15 %), бореальных хвойных лесов (более 32 %), где поверхностный дренаж и низкая температура ограничивают накопление деревьями биомассы.

Распространение относительно легких по гранулометрическому составу силикатных почвообразующих пород в лесной зоне благоприятно для дренажа и просачивания осадков. Сорбционная способность таких пород невелика. Такие свойства почв способствуют миграции органических веществ и металлов (железа, алюминия и других) в форме органо-минеральных соединений, к попаданию их в грунтовые воды и образованию избыточно увлажненных почв. При таких природных условиях в сельскохозяйственных целях используются относительно небольшие площади земель страны.

### 3.2. Категории и угодья земель РФ

Общая площадь земельного фонда Российской Федерации на 1 января 2005 года составила 1709,8 млн га. Земли страны классифицируют по категориям и по угодьям. **Категории земель** — это понятие собирательное и условное, они выделяются по назначению земель. Учет земель по угодьям ведется в соответствии с их фактическим использованием. **Земельные угодья** — это земли, систематически используемые или пригодные к использованию для конкретных хозяйственных целей и отличающиеся по природно-историческим признакам. Угодье имеет определенное местоположение, внешнюю замкнутую границу и площадь.

В схеме распределения по категориям на долю земель сельскохозяйственного назначения приходится почти 24 % общей площади. Среди земель разных категорий преобладают земли лесного фонда (почти 65 %). Земельные угодья делятся на сельскохозяйственные и несельскохозяйственные. Сельскохозяйственные угодья занимают лишь около половины (54 %) земель категории сельскохозяйственного назначения, что соответствует 13 % от общей площади земель. Сельскохозяйственные угодья включают пашню,

залежь, кормовые угодья, многолетние насаждения, причем на пашню приходится несколько более половины (56 %) всех сельскохозяйственных угодий, что соответствует почти 7 % от общей площади земельного фонда страны. Несельскохозяйственные угодья заняты преимущественно лесами и кустарниками (57 %), к ним относятся также земли под поверхностными водоемами (13 %) и прочие (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Распределение земель РФ по угодьям на 01.01.2003 г.

| Вид землепользования               | Площадь |                    |
|------------------------------------|---------|--------------------|
|                                    | млн га  | % от общей площади |
| Сельскохозяйственные,<br>из них:   | 221     | 13                 |
| – пахотные                         | 124     | 7                  |
| – сенокосы и пастбища              | 91      | 5                  |
| Несельскохозяйственные,<br>из них: | 1518    | 87                 |
| – под лесами и кустарни-<br>ками   | 897     | 52                 |
| – оленьи пастбища                  | 326     | 19                 |
| – под водой и болотами             | 226     | 13                 |

За последние 10–15 лет в стране в связи с неудовлетворительным экономическим состоянием сельского хозяйства происходило ежегодное сокращение площади сельскохозяйственных угодий. За период с 1990 по 2002 год она сократилась на 0,7 %. Особенно ощутимы потери пахотных угодий в Республике Башкортостан, в Курганской, Волгоградской, Читинской, Пензенской областях, в Красноярском крае, в Республике Марий Эл, в Республике Тыва.

Региональные закономерности распространения земель в стране таковы: наибольшая доля земель сельскохозяйственного назначения (от их общей площади) в Сибирском (25 %) и Дальневосточном (18 %) федеральных округах. Наивысший же процент сельскохозяйственных угодий от общей площади земель сельскохозяйственного назначения приходится на Южный (88 %), Приволжский (86 %) и Центральный (75 %) федеральные земельные округа.

В стране ликвидирована монополия государственной собственности на землю. Для сельскохозяйственных территорий наиболее распространенной формой хозяйствования



являются крестьянские (фермерские) хозяйства. Значительными площадями земель владеют производственные кооперативы. Это форма хозяйствования, имеющая много общего с прежними колхозами. В 2001 году принят новый Земельный кодекс, разработана и внедрена автоматизированная система ведения государственного земельного кадастра, цель которой — обеспечить в РФ эффективное и рациональное использование земель.

Экологический мониторинг почв проводится повсеместно. Регулярно обследуются пахотные почвы и почвы других сельскохозяйственных угодий. Подлежат экологическому мониторингу также почвы несельскохозяйственных угодий.

# АНТРОПОГЕННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ

## 4.1. Понятие об антропогенной деградации почв

**Антропогенная деградация биосферы** — это такие нарушения структуры и функционирования биосферы под влиянием деятельности человека, которые ведут к ослаблению или невозможности выполнения ее глобальной функции — сохранения жизни на планете. Антропогенная деградация почв — это необратимые антропогенные изменения физических, химических, биологических свойств почв, которые ведут к невозможности выполнения в полной мере почвами их экологических функций. Так как функции почв уникальны, антропогенная деградация почв ведет к частичной деградации биосферы.

Деградация почв проявляется прежде всего в том, что они утрачивают свое плодородие. Деградация почв различных видов достигла огромных масштабов, последствия ее в последние 20 лет испытывает по крайней мере  $\frac{1}{3}$  территории планеты. Биллионы тонн земли невозобновляемого природного ресурса ежегодно исключаются из сельскохозяйственного пользования. Чтобы заново создать почвенный слой, который нередко теряется за один сезон, нужны века. Если политика и экономика не обеспечат сохранение земли, локальная деградация почв примет глобальные масштабы. Утрата устойчивости почв ведет к потере устойчивости общества в целом. Реальной становится угроза краха сельского хозяйства, что очень опасно в условиях роста числа потребителей.

Уровень деградации земель непосредственно связан с плотностью населения и производства. Предполагается, что численность населения Земли к 2025 году приблизится к 8,5 млрд. Рост населения опережает рост экономического развития, т. е. рост населения на планете происходит за счет относительно менее экономически развитых стран, где различные факторы способствуют росту площадей дегра-

дированных земель. В конце XX века четверть населения проживала в экономически развитых странах. Прогнозируется, что в начале XXI века в них будет проживать лишь  $\frac{1}{5}$ , к 2025 году население этих стран составит лишь  $\frac{1}{6}$  от общего числа обитателей планеты.

В настоящее время в 10 странах численность населения превышает 100 млн, в 11 странах население составляет 50–100 млн. Из 25 стран с высоким уровнем населения 6 стран находятся в Европе, 6 стран с высоким уровнем населения есть в Америке и Африке, 12 стран расположены в Азии. Самые высокие уровни рождаемости отмечены на африканском континенте.

Рост населения ведет к деградации почв, так как сопровождается необходимостью глобального увеличения производства продуктов питания. Следствием крайних степеней деградации почв является недостаток пищи и сопровождающий его голод.

И рост населения, и рост урбанизации сопровождаются размещением производства и проживания людей на новых площадях, интенсификацией использования земель. В конце XX века в городах проживало 43 % всех обитателей Земли. В начале XXI столетия в городах будет жить половина всего населения. Доля городских жителей составляет  $\frac{3}{4}$  всего населения в развитых странах и  $\frac{1}{4}$  — в развивающихся странах.

Для сохранения жизни на планете необходимо сохранение почв путем разработки новых технологий, которые обеспечивали бы как экономический и социальный статус общества, так и улучшение состояния окружающей среды.

#### 4.2. Причины и виды антропогенной деградации почв

Деградация почв может происходить под влиянием как природных, так и техногенных факторов (табл. 4.1).

Список причин антропогенной деградации в несколько раз длиннее перечня причин естественного происхождения. Сведение лесов, перевыпас, чрезмерная эксплуатация земель в условиях интенсивной сельскохозяйственной и индустриальной деятельности — основные причины разрушения почв.

Основные виды деградации почв: водная и ветровая эрозия, различные виды нарушения химического состояния почв (загрязнение, потеря элементов питания, закисление,

Таблица 4.1

## Основные причины деградации почв

| ЕСТЕСТВЕННЫЕ  | АНТРОПОГЕННЫЕ   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Климатические</li> <li>• Гидрогеологические</li> <li>• Морфодинамические</li> <li>• Фитозоогенные</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Нерациональное ведение богарного и орошаемого земледелия</li> <li>• Чрезмерный выпас</li> <li>• Уничтожение почвенно-растительного покрова промышленным, коммунально-бытовым, ирригационным строительством</li> <li>• Горные разработки</li> <li>• Технологические и аварийные промышленные выбросы</li> <li>• Сбросы сточных и дренажных вод</li> <li>• Загрязнение, захламление</li> <li>• Истощающее землепользование</li> <li>• Уплотнение техникой</li> <li>• Подтопление, несовершенство поливной техники, нарушение режима орошения (дозы, сроки, технология)</li> <li>• Внесение органических и минеральных удобрений</li> </ul> |

защелачивание и пр.), физического состояния почв (разрушение структуры почв, уплотнение, затопление и пр.)

Деградация почв — явление общепланетарное. Размеры ее показывает таблица 4.2.

Таблица 4.2

## Виды и размеры глобальной антропогенной деградации почв (млн га)

| Вид деградации           | Степень деградации |         |         | Общая площадь |
|--------------------------|--------------------|---------|---------|---------------|
|                          | Слабая             | Средняя | Сильная |               |
| Водная эрозия            | 343                | 527     | 224     | 1094          |
| Ветровая эрозия          | 269                | 254     | 26      | 549           |
| Химическая деградация    | 93                 | 103     | 43      | 239           |
| Потеря элементов питания | 52                 | 63      | 20      | 135           |

Окончание табл. 4.2

|                       |            |            |            |             |
|-----------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Засоление             | 35         | 20         | 21         | 76          |
| Загрязнение           | 4          | 17         | 1          | 22          |
| Закисление            | 2          | 3          | 1          | 6           |
| Физическая деградация | 44         | 27         | 12         | 83          |
| <b>Общая площадь</b>  | <b>749</b> | <b>911</b> | <b>305</b> | <b>1965</b> |

Данные таблицы 4.2 свидетельствуют о значительном развитии процесса деградации почв: на планете превалирует не слабая начальная стадия деградации, а средняя степень деградации почв. Безвозвратные потери сельскохозяйственных угодий из-за деградации уже превысили 1,5 млн га в год. Доля деградированных земель при различных видах землепользования в разных регионах земного шара колеблется в широких пределах и может достигать 94 % (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Глобальное землепользование (млн га)  
и доля (%) деградированных земель (Oldeman, 1992)

| Континент<br>(регион) | Пашня            |                          | Луга             |                          | Леса<br>(саванна) |                          |
|-----------------------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|
|                       | Общая<br>площадь | Деградированные<br>земли | Общая<br>площадь | Деградированные<br>земли | Общая<br>площадь  | Деградированные<br>земли |
| Африка                | 187              | 65                       | 793              | 31                       | 683               | 19                       |
| Азия                  | 536              | 38                       | 978              | 20                       | 1273              | 27                       |
| Южная Америка         | 142              | 45                       | 478              | 68                       | 896               | 13                       |
| Центр. Америка        | 38               | 74                       | 94               | 11                       | 66                | 38                       |
| Северная Америка      | 236              | 26                       | 274              | 11                       | 621               | 1                        |
| Европа                | 287              | 25                       | 156              | 35                       | 353               | 26                       |
| Океания               | 49               | 16                       | 439              | 19                       | 156               | 8                        |
| <b>Всего в мире</b>   | <b>1475</b>      | <b>38</b>                | <b>3212</b>      | <b>21</b>                | <b>4048</b>       | <b>18</b>                |

На степень деградации земель влияют уровень развития и вид хозяйствования в разных странах. В странах Азии и Африки высока роль в деградации почв перевыпаса и све-

дения лесов, в Северной Америке — сельскохозяйственной деятельности, в Европе — индустриального производства. Как правило, такая закономерность наблюдается вне зависимости от используемой методики оценки деградации почв. Хотя методики эти довольно существенно различаются. Одни из методик основаны на учете ежегодной потери урожая, другие — на учете суммарной потери урожая в результате деградации почв. В Европе на землях, занятых лугами и лесами, процент деградированных земель выше, чем в среднем на планете.

Преобладание того или иного вида деградации определяется и климатическими условиями, которые зачастую диктуют доминирующий вид хозяйственного освоения на данной территории. Например, в России прослеживается зональность в распространении разных видов деградации почв. На севере преобладает деградация оленьих пастбищ, в центральной части — дегумификация, истощение и эрозия почв, на юге — опустынивание. Повсеместно распространено загрязнение почв токсикантами, преимущественно промышленного происхождения (тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты) (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Факторы антропогенной деградации почв (млн га)  
(Oldeman, 1991)

| Континент<br>(регион)   | Сведение<br>лесов | Чрез-<br>мерная<br>эксплу-<br>атация | Пере-<br>выпас | Сельскохо-<br>зяйствен-<br>ное произ-<br>водство | Промыш-<br>ленная<br>деятель-<br>ность |
|-------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------|--|--|
| Африка                  | 67                | 63                                   | 243            | 121  | +                                      |
| Азия                    | 298               | 46                                   | 197            | 204  | 1                                      |
| Южная<br>Америка        | 100               | 12                                   | 68             | 64   | —                                      |
| Центр.<br>Америка       | 14                | 11                                   | 9              | 28   | +                                      |
| Северная<br>Америка     | 4                 | —                                    | 29             | 63   | +                                      |
| Европа                  | 84                | 1                                    | 50             | 64   | 21                                     |
| Океания                 | 12                | —                                    | 83             | 8  | +                                      |
| <b>Всего в<br/>мире</b> | <b>579</b>        | <b>133</b>                           | <b>679</b>     | <b>552</b>                                       | <b>22</b>                              |

Деградация почв вызывает негативные изменения как экологических систем, так и в сельскохозяйственном производстве, а также в социальной сфере. В России водной эрозии подвержено 56 % площадей, дефляции — 28 %, химической деградации — 12 %, физической деградации — 4 % площадей. Сельскохозяйственные земли в России нарушены водной эрозией на площади 300 тыс. кв. км, ветровой эрозии — на площади 79 тыс. кв. км. Ежегодно площадь эродированных земель в стране возрастает на 4–5 тыс. кв. км.

## ГЛАВА 5

# ДЕГРАДАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

### 5.1. Потери почв от водной и ветровой эрозии

**Эрозия почв** — совокупность взаимосвязанных процессов отрыва, переноса и отложения почвы поверхностным стоком временных водных потоков и ветром (Кузнецов, Глазунов, 1996). Эрозионные процессы являются доминирующей причиной деградации почвенного покрова и потерь продуктивных земель в разных странах и в разных природных зонах. Масштабность проявления эрозии существенно зависит от уровня плодородия почв, однако ведущую роль играют рельеф и климатический фактор. Потери верхних горизонтов почв — основной показатель ущерба, нанесенного эрозией. Выражается ущерб в т/га/год и мм/год перенесенного почвенного материала (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Показатели потери почвы при эрозии  
(Деградация и охрана почв, 2002)

| Степень эрозии         | т/га/год | мм/год   |
|------------------------|----------|----------|
| Слабая или отсутствует | <10      | <0,6     |
| Умеренная              | 10–50    | 0,6–3,3  |
| Сильная                | 50–200   | 3,3–13,3 |
| Очень сильная          | >200     | >13,3    |

Во всем мире общий рост сельскохозяйственной площади привел к освоению земель низкого качества, так называемых «маргинальных», т. е. земель на грани пригодности, которые значительно менее устойчивы против деградационных процессов, особенно против эрозии всех видов. Так, например, в Канаде деградация почв стоит фермерам около 1 млрд долл. ежегодно. В Казах-



стане освоение целины в 50-е годы привело к сильному развитию эрозионных процессов и потере почв. В Китае, например, в 1983–1985 годах ежегодные потери сельскохозяйственных земель составили 1,3 млн га. Китайские почвоведы высказывали опасения, что площадь пахотных угодий страны к 2000 году сократится до 100 млн га вместо распахиваемых в тот период 120 млн га. Между тем уже в 1986 году в Китае приходилось 0,12 га пашни на душу населения. В Индии сильной эрозией поражены 25–30 % всех обрабатываемых земель. По мнению специалистов ФАО, если не будут приняты эффективные почвоохранные меры, только в развивающихся странах Азии, Африки и Латинской Америки площади пахотных земель за счет деградационных процессов могут уменьшиться в перспективе более, чем на 500 млн га.

Традиционные системы земледелия, такие как подсечно-огневая и переложная, играют наибольшую роль в тропических областях, где вторичная растительность, быстро восстанавливаясь и развиваясь, в значительной мере восстанавливает утраченное плодородие.

С точки зрения подверженности эрозионным процессам особенно ранимы горные экосистемы, что обусловлено целым рядом их особенностей. Крутизна склонов, неравномерность распределения солнечного излучения и осадков и связанное с этим интенсивное развитие эрозии затрудняют освоение горных территорий и являются причиной интенсивного изменения ландшафтов гор под антропогенным прессом.

На высокогорных пастбищах, где природные условия оптимальны для скотоводства, наблюдается серьезная деградация почв за счет перевыпаса. Интенсивно развивается эрозия и солифлюкция, изменяется состав травостоя. Эти пастбища нуждаются в серьезных восстановительных работах или даже в выводе из использования на несколько десятилетий.

В зависимости от плотности населения, давности освоения и системы использования горные страны подвергаются антропогенным нагрузкам различной интенсивности, последствия этих воздействий варьируют от катастрофических (Эфиопское нагорье) до проградационных (например, на орошаемых под рис террасируемых склонах Гималаев).

Наиболее ярким примером деградационных явлений в горных условиях является Эфиопское нагорье. Здесь в

процессе многовековой эрозии сформировались крупные каньоны. В значительной мере этому способствовало распространение тяжелых по гранулометрическому составу сформированных на базальтах почв, характеризующихся низким коэффициентом фильтрации. За счет этого верхний горизонт почв сильно переувлажнялся, вплоть до разжижения. Для отвода лишней воды местные крестьяне много веков пахут вдоль склонов, и это усугубляет эрозию.

В горных районах Китая, Непала, Японии, Индонезии, Юго-Восточной Азии, в Андах устройство террас на склонах позволяло земледельцам осваивать крутые склоны. Без этого приема эрозия быстро ликвидировала бы почвенный покров, однако на сооружение террас и поддержание их в порядке уходили века. Сейчас растущая нагрузка на землю заставляет земледельцев осваивать склоны с такой интенсивностью, что наспех сооруженные террасы быстро разрушаются и это приводит к катастрофическим оползням. Примерно такие же явления наблюдаются и в Таджикистане, на Кавказе.

Процессы эрозии в горах изменяют экологическую обстановку в долинах и на морских побережьях. Увеличивается площадь мелководий, что способствует развитию водорослей, ухудшению условий отдыха туристов, а следовательно, влечет за собой не только экологические потери, но и экономические.

В наибольшей степени пастбищное освоение характерно для горных систем суббореального и субтропического классов высотной поясности. Их районирование по устойчивости почвенного покрова по отношению к пастбищному воздействию — дело будущего, но некоторые предварительные наиболее общие положения в литературе имеются.

Почвенный покров гор суббореального гумидного типа высотной поясности (Альпы, Кавказ, Карпаты), в составе которого доминируют горно-луговые почвы в высокогорье и буроземы в лесном поясе, в целом является, видимо, более устойчивым. Слагающие его почвы никогда не испытывают дефицита влаги, а благодаря хорошей дренированности территории не испытывали и переувлажнения. Все это позволяет формироваться здесь устойчивым растительным сообществам и более устойчивому почвенному покрову.

В почвенном покрове горных систем суббореального континентального типа высотной поясности (Тянь-Шань, Центральный и Восточный Кавказ) преобладают черноземы,

каштановые почвы, горно-луговые почвы. Почвенный покров гор субтропического континентального типа высотной поясности (Юго-Западная часть Тянь-Шаня) представлен в основном сероземами, серо-коричневыми и коричневыми почвами, выше которых также располагаются горно-луговые почвы. Практически все перечисленные почвы испытывают или периодическое иссушение или постоянный дефицит влаги, что обусловлено континентальностью и большой сухостью климата и определяет меньшую устойчивость почвенного покрова этих горных систем.

Бессистемное, нерациональное, не имеющее научного обоснования использование горных пастбищ приводит к их деградации. По мере возрастания нагрузки последовательно сменяются следующие стадии: 1) разрушение растительного покрова; 2) разрушение почвенного покрова; 3) разрушение литосферы.

В зависимости от интенсивности пастбищной нагрузки и продолжительности ее воздействия пастбищная дигрессия может остановиться на той или иной стадии. На первых этапах пастбищной дигрессии меняется видовой состав фитоценозов в пользу наименее поедаемых видов и уменьшаются общие запасы фитомассы. При сильном стравливании непоедаемые виды могут сформировать большую фитомассу в силу отсутствия конкуренции. Но кормовой ценности такие угодья, занимающие иногда довольно большие площади, не имеют. В лесных фитоценозах, помимо этого, выпас приводит к частичному или полному уничтожению всходов, угнетению подроста, что ухудшает возобновление.

Изреживание или полное исчезновение в результате выпаса травяного покрова приводит к широкому развитию эрозионных процессов, в почвенном покрове появляются почвы разной степени смывости, оползневые формы микрорельефа, линейные эрозионные формы микро- и мезорельефа, почвы с полициклическими и редуцированными профилями.

Дальнейшее развитие эрозионных процессов может привести к полному удалению почвенного покрова. Разные стадии деградации могут соседствовать друг с другом в пределах одной экосистемы, совмещаясь тем самым во времени.

Основой устойчивости горных экосистем является почвенный покров как наиболее консервативный их компонент. Растительный покров отличается гораздо большей

мобильностью. Под влиянием усиленного выпаса он может смениться всего за 4–5 лет. Относительно быстро идет и его восстановление. Продуктивность пастбищ при введении рационального их использования может быть восстановлена за 5 лет. Но необходимым условием такого восстановления является стабильность почвенного покрова. Разрушение почв делает невозможным восстановление фитоценоза. Для восстановления почвенного покрова требуются уже сотни лет, т. е. в реальном масштабе времени уничтоженные эрозией почвы можно считать утраченными безвозвратно.

Все новые площади захватывает эрозия и в Российской Федерации. В отдельных регионах эродировано 70–80 % и даже 90 % сельскохозяйственных угодий. Такие ситуации нередки в Мордовии, Чувашии, Удмуртии, на Алтае, в Западной и Восточной Сибири, в Ханты-Мансийском округе, в Белгородской и Ростовской областях. Площади земель, подверженных эрозии, растут из-за невыполнения обязательных противоэрозионных мероприятий.

Причем эрозия почв ведет не только к падению продуктивности земель, но и к другим печальным последствиям: заиливаются реки, озера и водохранилища, как следствие, нарушаются гидрологические процессы и балансы, растет частота и губительность наводнений.

## 5.2. Водная эрозия почв

Водная эрозия представлена двумя типами: *плоскостной эрозией* и *линейной*. Плоскостная эрозия — это наиболее распространенный вид эрозии, приводящей к потере верхних горизонтов почв, а с ними — к потере элементов питания растений. *Линейная эрозия* включает ручейковую, овражную, абразию речных берегов и развитие оползней.

Внешними факторами, влияющими на эрозию почв, являются климат, рельеф, литология, растительность, почвенный покров, использование земель.

Эрозионный потенциал, потенциальная опасность эрозии (ПОЭ) отражает влияние этих факторов, определяющих возможность проявления процессов смыва почвенного материала:

$$ПОЭ = f(K, P, Г, П, Пр, X),$$

где  $K$  — климатические условия,  $P$  — условия рельефа,  $Г$  — геологические условия (почвообразующие породы),

$\Pi$  — почвенные условия,  $\Pi_r$  — почвозащитная роль растительности,  $X$  — хозяйственное использование земель.

Из почвенных свойств на подверженность их эрозии влияют водовпитывающая способность почв, их водопроницаемость, которые, в свою очередь, зависят от структуры почв, их агрегатного и гранулометрического состава, от содержания гумуса.

Рельеф, почвенный покров, растительность, а также некоторые геологические условия, свойства почв, влияя на развитие эрозии, сами со временем изменяются под воздействием эрозионных процессов. Для разработки систем мер по защите почв от эрозии необходимо знать, каким образом влияют отдельные факторы или их составляющие на проявление эрозионных процессов.

Применяются следующие количественные характеристики природных и антропогенных факторов с точки зрения их воздействия на процессы смыва.

Уравнение ливневого стока, предложенное Уишмайером-Смитом, имеет вид:

$$A = R \times LS \times K \times C,$$

где  $A$  — смыв почвы, т/га;  $R$  — эрозионный индекс дождей;  $LS$  — топографический фактор;  $K$  — фактор эродированности почвы;  $C$  — коэффициент почвозащитных свойств посевов.

При определении смыва почв при стоке талых вод используется модуль смыва:

$$M_{p\%} = 4 h_p^n \times abK_j,$$

где  $M_{p\%}$  — модуль стока наносов (т/га) заданной вероятности  $p\%$  за период весеннего снеготаяния;  $h_p$  — слой стока (мм) за период весеннего снеготаяния той же вероятности  $p\%$ ;  $n$ ,  $a$  — эмпирические параметры, зависящие от типа ручейковой сети на склоне, агрофона в текущем году и типа почв (для зяблевой вспашки);  $b$  — эмпирический коэффициент, учитывающий влияние агрофона за предшествующий год;  $K_j$  — коэффициент, учитывающий крутизну склона.

Эрозионный потенциал территории определяется прежде всего такими характеристиками рельефа, как крутизна и длина склонов. Зависимость степени смывности почвы от условий рельефа хорошо видна из данных, приведенных в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Зависимость смытости почв от условий рельефа

| Пояса равноудаленности от водораздела по линиям стока, м | Южная и западная экспозиция |             |   |   |              |          | Северная и восточная экспозиция |   |   |   |
|--|-----------------------------|-------------|---|---|--------------|----------|---------------------------------|---|---|---|
|  | Крутизна склонов, °         |             |   |   |              |          |                                 |   |   |   |
|  | <1                          | 1—2         | 2—5                                       | 5—10                                      | >10          | <1       | 1—2                             | 2—5                                       | 5—10                                      | >10                                       |
| <50  | Несмытая                    | Несмытая    | Сдвигивание почв обрабатывающими орудиями | Сдвигивание почв обрабатывающими орудиями | Несмытая     | Несмытая | Несмытая                        | Сдвигивание почв обрабатывающими орудиями | Сдвигивание почв обрабатывающими орудиями | Сдвигивание почв обрабатывающими орудиями |
| 50—100   | Несмытая                    | Слабосмытая | Слабосмытая                               | Слабосмытая                               | Несмытая     | Несмытая | Слабосмытая                     | Слабосмытая                               | Слабосмытая                               | Слабосмытая                               |
| 100—200  | Несмытая                    | Слабосмытая | Среднесмытая                              | Среднесмытая                              | Сильносмытая | Несмытая | Слабосмытая                     | Среднесмытая                              | Среднесмытая                              | Среднесмытая                              |
| 200—300  | Несмытая                    | Слабосмытая | Среднесмытая                              | Среднесмытая                              | Сильносмытая | Несмытая | Слабосмытая                     | Среднесмытая                              | Среднесмытая                              | Среднесмытая                              |
| 300—400  | Несмытая                    | Слабосмытая | Среднесмытая                              | Сильносмытая                              | Сильносмытая | Несмытая | Слабосмытая                     | Среднесмытая                              | Среднесмытая                              | Сильносмытая                              |
| > 400  | Несмытая                    | Слабосмытая | Среднесмытая                              | Сильносмытая                              | Сильносмытая | Несмытая | Слабосмытая                     | Среднесмытая                              | Среднесмытая                              | Сильносмытая                              |

Важным фактором, определяющим интенсивность весеннего смыва почвы, является экспозиция склона. Форма склона влияет на интенсивность эрозии, однако учесть ее при оценке смыва не всегда оказывается возможным. Некоторые авторы предлагают коэффициенты влияния формы склонов на интенсивность смыва: для склонов с прямым профилем коэффициент принимается за 1, с выпуклым профилем — 1,5, а для вогнутого склона — 0,5.

В качестве количественного показателя эрозионной опасности рельефа в универсальном уравнении смыва и в его модификации используют топографический фактор  $LS$ . Его величина определяется по номограмме. Формула фактора рельефа для конкретного отрезка склона имеет вид:

$$LS = (L \div 22,1)^m \cdot [n^{1+m} - (n-1)^{1+m}] \times \\ \times (0,065 + 4,56 \sin I_n + 65,41 \sin I_n),$$

где  $L$  — длина отрезка склона в метрах,  $I_n$  — уклон конкретного участка склона,  $n$  — номер отрезка, считая от водораздела;  $m$  — равно 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 соответственно при уклонах ( $I$ )  $\leq 1$ ; 1–3; 3–5;  $> 5^\circ$ .

Для удобства расчетов  $LS$  составлены таблицы изменения эрозионного потенциала рельефа в зависимости от уклона и расстояния от водораздела<sup>1</sup>. После распределения показателей  $LS$  на топографической карте конкретного участка территории составляется карта-схема эрозионной опасности рельефа данного участка, которая является первым этапом оценки эрозионной опасности территории в целом.

В условиях сформировавшегося поверхностного стока степень проявления эрозии зависит от способности почвы противостоять смыву. Противозерозионная стойкость (ПС) почвы определяется двумя показателями: размером водопрочных агрегатов и сцеплением их друг с другом. Все остальные свойства почвы влияют на ПС через эти показатели. Таким образом, значительное влияние на ПС почвы оказывают: гранулометрический состав почвы, содержание гумуса и его фракционно-групповой состав, состав обменных катионов.

Один из важнейших факторов ПС — водопрочность структуры. Однако в некоторых случаях прочность структу-

<sup>1</sup> Методика исчисления условной цены земли. М., 1987.

ры почвы в воде не обеспечивает высокой противоэрозионной стойкости. Связь ПС с дисперсностью почв использована в формуле показателя противоэрозионной стойкости, предложенной А.Д. Ворониным и М.С. Кузнецовым:

$$\text{ППС} = (K_{\text{гр.см}} \times 100 \%) \div K_{\text{гусп}},$$

где ППС — показатель противоэрозионной стойкости,  $K_{\text{гр.см}}$  — гранулометрический показатель структурности, по Вадюниной, равный отношению содержания частиц диаметром  $<0,001$  мм к суммарному содержанию более крупных фракций при механическом анализе почвы, по Качинскому;  $K_{\text{гусп}}$  — коэффициент дисперсности, по Качинскому, равный отношению фракции диаметром  $<0,001$  мм при микроагрегатном анализе к фракции того же размера при механическом анализе.

Большой практический интерес представляет использование номограммы Уишмайера-Смита. Важнейшие параметры номограммы, по которым определяется коэффициент эродуемости почв ( $K_{\text{эп}}$ ), являются содержание гумуса в почвах, их гранулометрический состав (суммарное содержание фракций размером от 0,1 до 0,001 мм и более 0,1 мм). Уточнение значений  $K_{\text{эп}}$  производят по содержанию водопрочных агрегатов и водопроницаемости почв.

Внутри крупных генетических категорий почв эродуемость зависит от гранулометрического состава, характера материнских пород.  $K_{\text{эп}}$  снижается с уменьшением содержания в почвах крупной пыли, увеличением содержания ила, т. е. с утяжелением гранулометрического состава.

Существенные коррективы в значение величин смыва вносят посевные культуры. Те районы, которые не опасны в отношении смыва при посеве зерновых культур, становятся эрозионноопасными под посевами пропашных, под черным паром. Для количественного учета защитного влияния сельскохозяйственной культуры в универсальное уравнение Уишмайера-Смита вносится фактор  $S$ , который представляет собой отношение почвы, смытой с поля, занятого полевыми культурами, к количеству почвы, смытой с поверхности, занятой черным паром. В районах с преобладанием колосовых культур средневзвешенная величина  $S$  равна 0,21–0,30. При значительных площадях многолетних трав она снижается до 0,15–0,20. Высокий процент пропашных культур в севооборотах способствует



росту средневзвешенной величины фактора  $C$  — его величина достигает 0,35—0,40.

Важная характеристика процесса эрозии — его интенсивность за весь период сельскохозяйственного использования той или иной территории. Знание показателя  $I_s$  позволяет классифицировать почвы по интенсивности смыва. Соотношение среднегодовых многолетних и наблюдаемых в текущее время темпов смыва позволяет более точно оценить современный этап развития эрозионных процессов, определить, являются ли они интенсивными, прогрессирующими или затухающими.

Для оценки интенсивности эрозии используют следующую формулу:

$$I_s = H \div K_A,$$

где  $I_s$  — среднегодовая потеря почвы, мм;  $H$  — мощность смытого слоя, мм;  $K_A$  — продолжительность сельскохозяйственного использования территории, лет.

### 5.3. Ветровая эрозия почв

Ветровая эрозия (дефляция) подразделяется на три типа: 1) равномерное поверхностное перевивание, свойственное аридным и субаридным легким почвам, но ускоренное воздействием человека; 2) образование дюн, гряд, барханов; 3) погребение золовыми наносами. Второй и третий вид дефляции почв часто сопутствуют основному типу — первому из названных (Деградация и охрана почв, 2002).

Подверженность почв ветровой эрозии определяется большим числом факторов (климат, рельеф, растительность). Основным природным фактором, влияющим на ветровую эрозию, является климат. Зависимость ветровой эрозии почв от климата прослеживается очень четко и связана с циркуляцией атмосферы, режимом ветров, с количеством осадков (с увлажнением почв) и температурой, которые в совокупности определяют степень засушливости климата. С ростом засушливости климата и уменьшением увлажненности территории дефляция почв возрастает. Следовательно, дефляция почв носит зональный характер. Территория России по степени дефляционной опасности делится на три пояса в зависимости от величины коэффициента увлажнения ( $K$ ).

А — пояс, в котором дефляция отсутствует.  $ГТК > 1$ . Иссущение верхнего слоя отсутствует, именно поэтому дефляция невозможна или проявляется крайне слабо.

Б — пояс активного проявления дефляции почв.  $ГТК = 1 - 0,33$ .

В — пояс сильно выраженной потенциальной возможности проявления дефляции почв.  $ГТК < 0,33$ . В этом поясе необходимы активные мероприятия по предупреждению дефляции и ликвидации ее последствий.

Показателем увлаженности территории служит индекс увлаженности:

$$K_y = P/E,$$

где  $K_y$  — индекс увлаженности,  $P$  — количество атмосферных осадков,  $E$  — испаряемость. Величина, обратная увлаженности, называется индексом сухости:

$$K_c = E/P.$$

В сильной степени дефляция зависит от скорости ветра. В целом климатический фактор дефляции почв определяется следующим отношением:

$$KФ = 34,483 \cdot v^3 \div (P - E)^2,$$

где  $KФ$  — климатический фактор,  $v$  — скорость ветра;  $P - E$  — увлажненность территории, равная разности количества осадков  $P$  и испарения  $E$ .

Минимальная скорость ветра, при которой начинается отрыв, подъем и перенос в воздушном потоке частиц почвы, называется критической (пороговой) скоростью ветра. В наибольшей степени критическая скорость ветра зависит от свойств самой почвы и прежде всего от ее гранулометрического состава: чем легче почва по гранулометрическому составу, тем меньше критическая скорость ветра. По У. Чепилу, зависимость между этими показателями следующая:

$$V_{кр} = \sqrt{dR},$$

где  $V_{кр}$  — критическая скорость ветра,  $d$  — удельная масса частиц,  $R$  — диаметр частиц.

Эта формула справедлива для частиц диаметром  $> 0,05$  мм. Для частиц с диаметром менее 0,05 мм эта зависимость имеет другой вид, так как критическая скорость с уменьшением диаметра частиц ниже 0,05 мм вновь увеличивается (рис. 5.1).

В целом зависимость скорости дефляции почв от гранулометрического состава следующая:

$$S = 34,7 + 0,9x_1 - 0,3x_2 - 0,4x_3,$$

где  $S$  — ветроустойчивость, %;  $x_1$  — содержание ила, %;  $x_2$  — содержание мелкого песка, %;  $x_3$  — содержание крупного песка, %.

Разные гранулометрические фракции действуют на ветроустойчивость почв по-разному в силу их различной роли в почвенных процессах. Повышение содержания ила увеличивает прочность агрегатов и ветроустойчивость почв, средняя и крупная пыль на ветроустойчивость заметно не влияют, а песок оказывает на нее отрицательное воздействие.

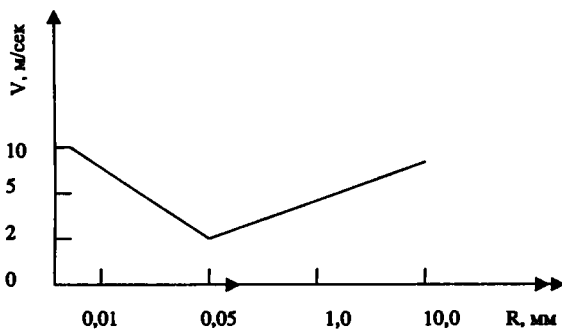


Рис. 5.1. Зависимость критической скорости ветра от диаметра частиц почвы (на высоте 100 см)

Химический состав почв также сильно влияет на ветроустойчивость почв. Так, солонцеватые почвы, с высоким содержанием натрия в ППК увеличивают дефляционную устойчивость почвенного покрова (и уменьшают способность противостоять водной эрозии). Солончаковатые почвы часто характеризуются повышенной развеваемостью, так как, например, сульфат натрия —  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{H}_2\text{O}$  — за счет гидратной воды разрыхляет почвы и тем самым способствует их выдуваемости. Иногда на месте пухлых солончаков образуются глубокие засоленные котловины — шоры.

При картировании почвенного покрова по степени дефлированности необходимо выделять контуры, различающиеся по уровню их изменения под влиянием ветра. Но так как они крайне неоднородны, в их пределах

встречаются участки выдувов («язвы дефляции»), ровные участки сдутых почв и участки золовых наносов. Причем картина очень изменчива во времени. По площади распространения выделяют поля со слабо распространенными выдувами (<10 %), средне распространенными (10–25 %), сильно распространенными (35–40 %) и очень сильно распространенными выдувами (>40 %). Таким образом, при дефляции почв появляется специфическая структура почвенного покрова, возникает сложная комбинация почв разной степени развешности и погребенности, изменяется микрорельеф и даже мезорельеф территории. Все это необходимо учитывать при картировании дефлированных почв.

Антропогенная деятельность усиливает влияние всех природных факторов на дефляцию почв. Одним из ярких примеров могут служить данные о том, что в Северном Казахстане в начальный период освоения целины ветровой эрозии было подвержено 1,5 млн га почв, а в 1965-м уже до 5 млн га.

#### 5.4. Переуплотнение почв

Уплотнение корнеобитаемого слоя — распространенная форма физической деградации почвы интенсивно используемых полей и пастбищ. Наиболее склонны к уплотнению структурно-инертные почвы, содержащие мало органического вещества и преимущественно малоактивную глину. При орошении переуплотняются и многогумусные черноземы с высоким содержанием высокоактивных смектитовых глин. Увеличение плотности ведет к значительному снижению продуктивности сельскохозяйственных культур (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Снижение продуктивности черноземов по мере возрастания плотности горизонта АВ (по Валькову и др., 2004)

| Плотность, г/см <sup>3</sup> | Продуктивность (коэффициент) | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Продуктивность (коэффициент) |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1,35                         | 1,00                         | 1,55                         | 0,75                         |
| 1,40                         | 0,94                         | 1,60                         | 0,69                         |
| 1,45                         | 0,87                         | 1,65                         | 0,64                         |
| 1,50                         | 0,82                         | 1,70                         | 0,58                         |

Среди процессов уплотнения почвы важную роль играет слитизация, особенно на орошаемых полях. Причем если обычное уплотнение почвы вследствие техногенной нагрузки может быть исправлено соответствующими приемами агротехнологии, то при слитизации почва деградирует настолько сильно, что практически теряет свою структуру. Причем теряет необратимо, что связано с перестройкой кристаллических решеток глинистых минералов и их трансформацией.

Однако чаще всего переуплотнение почв — следствие многократного прохождения по полям тяжелой сельскохозяйственной техники (табл. 5.4).

Таблица 5.4

**Влияние уплотняющего действия тракторов на почву и урожайность зеленой массы вико-овсяной смеси**

| Число проходов трактора           | Объемная масса почвы (г/см <sup>3</sup> ) перед посевом на глубине, см |       |       |       | Урожайность, ц/га |
|-----------------------------------|--|-------|-------|-------|-------------------|
|                                   | 0—10   | 10—20 | 20—30 | 30—40 |                   |
| <b>Трактор МТЗ-50 (3—4 тонны)</b> |  |       |       |       |                   |
| 0                                 | 1,02   | 1,13  | 1,39  | 1,40  | 218,3 ± 5,6       |
| 1                                 | 1,20   | 1,25  | 1,41  | 1,42  | 179,9 ± 1,7       |
| 3                                 | 1,32   | 1,34  | 1,43  | 1,47  | 153,3 ± 3,0       |
| 5                                 | 1,49   | 1,50  | 1,52  | 1,53  | 116,6 ± 3,0       |
| <b>Трактор Т-74 (7 тонн)</b>      |  |       |       |       |                   |
| 0                                 | 1,09   | 1,18  | 1,31  | 1,39  | 218,0 ± 4,1       |
| 1                                 | 1,19   | 1,22  | 1,35  | 1,42  | 190,0 ± 2,9       |
| 3                                 | 1,27   | 1,33  | 1,40  | 1,47  | 164,0 ± 2,9       |
| 5                                 | 1,35   | 1,38  | 1,45  | 1,47  | 110,0 ± 1,4       |

В России около 10 % почвенного покрова полей уплотнено в слабой степени, 50 % — в средней и 40 % — в сильной.

Потери пашни за счет переуплотнения под действием техники могут достигать 10—15 % используемых земель. Оно усиливается в том случае, если почва в момент нагрузки находится в переувлажненном состоянии.

По этой же причине снижение урожайности может достигать 25—50 %, а уменьшение эффективности удобрений превышать 40 %. Переуплотнение земель наблюдается практически во всех регионах, наиболее распространено в

районах развитого сельского хозяйства. Площади пахотных земель с явными признаками переуплотнения почв составляют не менее 600 тыс. га.

В нарушенных почвах практически очень трудно восстановить оптимальную плотность. Плотность поверхностных горизонтов почвы можно регулировать различными сельскохозяйственными приемами: вспашка, прикатывание, культивация, боронование, внесение органических удобрений. Однако в создании урожая участвуют не только верхние горизонты, но и вся корнеобитаемая толща. А при уплотнении антропогенного происхождения обычно затрагиваются и глубокие почвенные горизонты.

### 5.5. Переувлажнение почв

Переуплотнение нередко сопровождается переувлажнением почв, так же как переувлажнение часто приводит к их переуплотнению. Этому способствуют завышение поливных норм на орошаемых территориях, несовершенство поливальной техники. За счет этих процессов ухудшилось состояние ценных черноземов европейской части Российской Федерации, площади таких деградированных почв достигают миллионы гектаров. Ярким примером является трансформация черноземов Ростовской области, Ставрополья и Кубани, превращенных неразумным использованием в засоленные и заболоченные почвы.

Велики потери земель за счет подтопления земель. Подтоплено около 9 млн га земель, в их числе 5 млн га сельскохозяйственных угодий. В зоне орошаемого земледелия подтопление происходит в результате фильтрационных потерь из ирригационной сети, снижения роли гидрографической сети, плохого состояния или отсутствия дренажей и водоотводных коллекторов. В результате нарушается водный баланс на значительных площадях, что сказывается не только на мелиоративном состоянии орошаемых земель, но и на гидрологическом режиме территорий, прилегающих к орошаемым массивам и ирригационной сети.

Избыток воды в почве в течение длительного времени создает условия для протекания процессов оглеения и псевдооглеения. Отсутствие или низкое содержание кислорода, появление в среде ряда токсичных для микроорганизмов и растений соединений приводит к значительному снижению плодородия почвы.

Опыт орошения почв черноземного ряда однозначно свидетельствует об изменении их вещественного состава далеко не в лучшую сторону. Однако еще более опасным следствием орошения в условиях отсутствия эффективно работающих коллекторно-дренажных сетей стало подтопление обширных площадей территорий, прилегающих к орошаемым массивам. Ярким примером подобного состояния явился расположенный на левобережье Дона город-спутник Ростова-на-Дону — Батайск, где процессы подтопления начали проявляться в связи со строительством и функционированием Приморской оросительной системы. По данным Ростовской гидрогеолого-мелиоративной партии, на территориях ниже Азовского магистрального канала (АМК) практически повсеместно произошел подъем грунтовых вод (табл. 5.5).

Таблица 5.5

**Изменение глубины залегания грунтовых вод в окрестностях Батайска в зоне действия Азовского магистрального канала**

| Населенные пункты в пригородах Батайска                                       | Уровень грунтовых вод, м |         |
|---|--------------------------|---------|
|   | 1950 г.                  | 1998 г. |
| Сельскохозяйственная территория между поселком Кулешовка — совхозом «Овощной» | 5–10                     | 5–1     |
| Поселок Ленина  | 3–5                      | 2–2,5   |
| Юго-восточная окраина поселка Красный сад                                     | 5–10                     | <1      |

По данным мелиоративного кадастра, площадь подтопленных вследствие ирригации земель только на уровне выше 1,5 м приближается к 300 тыс. га. Если в качестве исходной точки отсчета брать уровень грунтовых вод до ввода в эксплуатацию ирригационных систем, то площадь земель, подверженных подтоплению, увеличивается на порядок.

## ГЛАВА 6

# ДЕГРАДАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

### 6.1. Дегумификация почв

Процесс дегумификации почв известен давно, однако его количественная оценка и планетарные масштабы вскрыты лишь в последние годы.

Уничтожение естественной растительности и распашка целинных земель приводит к резкому изменению всего биологического круговорота веществ и гидротермического режима в экосистеме, в том числе резко меняется биогеохимический цикл углерода (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Изменение гумусированности почв во времени

Основными приходными статьями баланса гумуса пахотных почв являются послеуборочные пожнивно-корневые остатки (обычно не более 20–30 % от выносимого), опад, органические удобрения, поступления с атмосферными осадками. Основная расходная статья баланса гумуса — его минерализация. Потери с поверхностным и внутрисоч-



венным стоком компенсируются чаще сего привносом с атмосферными осадками.

Первым результатом распашки почв является резкое снижение их гумусированности. Обычно в течение нескольких первых лет распашки запас гумуса в почве снижается на 25–50 % от исходного на целине. Последующая эволюция гумусного состояния почвы определяется используемой технологией земледелия.

С одной стороны, в условиях использования ресурсосберегающих технологий, направленных на эффективное ведение хозяйства и расширенное воспроизводство почвенного плодородия, наблюдается стабилизация гумусного состояния или даже его улучшение по сравнению с исходной целиной. Формируются почвы — огородные, садовые, плантационные, польдерные, поливные, выделяемые в настоящее время в мировой систематике почв в особый класс антропосолей, в Западной Европе их называют по-разному: плаггенеши, культосоли, хортисоли, ригосоли.

С другой стороны, показано, что вынос органических веществ в агроценозах всех стран составляет 1–2 % ежегодно. В различных провинциях черноземной зоны за 100 лет потеря гумуса черноземами составила 50–270 т/га, т. е. 17–69 % от исходного запаса, в среднем — 25–30 %. За последние десятилетия дегумификация усилилась из-за резкого снижения внесения минеральных и органических удобрений. За 1975–1985 годы потери гумуса составили в нечерноземной зоне, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке 0,5 %, в Центральной черноземной зоне 0,15 %.

В Российской Федерации на долю почв с низким содержанием гумуса приходится почти половина пахотных почв, с критическим уровнем — 15 %. В нечерноземной зоне доля последних возрастает до 45 %. В Московской области, за период 1987–1999 годы доля почв с низкой обеспеченностью гумусом возросла с 26 % до 40 %. (Деградация и охрана почв. 2002.).

Был оценен глобальный процесс дегумификации педосферы планеты в исторической перспективе (Б.Г. Розанов, А.Б. Розанов, 1990). До того как деятельность человека начала играть важную роль в эволюции почв, средняя мощность гумусного слоя составляла 0,5 м, средняя плотность почвы — 1,3 г/см<sup>3</sup>, среднее содержание органического углерода — 2,0 %, средний запас органического веществ

ва — 13 000 т/км<sup>2</sup>, общий запас органического углерода в гумусе планеты — 1700 млрд т.

Современное состояние в почвах, подвергшихся воздействию человека, оценивается так: 1) в пахотных почвах мира (15 млн км<sup>2</sup>) средняя мощность гумусового слоя 0,5 м, средняя плотность — 1,2 г/см<sup>3</sup>, среднее содержание органического углерода — 1,5 %, средний запас органического углерода — 900 т/км<sup>2</sup>, общий запас органического углерода — 135 млрд т; 2) в антропогенном бедленде мира (бывшие продуктивные земли, трансформированные человеком в пустыни, занятые водохранилищами, дороги, карьеры и т. д.) параметры гумусного состояния почв иные: средняя мощность гумусового слоя — 0,1 м, средняя плотность — 1,4 г/см<sup>3</sup>, среднее содержание органического углерода — 0,25 %, средний запас органического углерода — 7 млрд т.

В почвах, не подвергавшихся воздействию человека, запас гумуса остался стабильным и оценен авторами в 1290 млрд т органического углерода. Итого, современный общий запас органического углерода в почвенном покрове планеты составляет 1432 млрд т.

Таким образом, за 10 000 лет почвенный покров мира потерял органического углерода 253 млрд т вследствие антропогенного воздействия, 60 млрд т за счет современных пахотных земель, а в целом потери составили 313 млрд т, что соответствует 16 % от его исходного запаса 10 000 лет назад.

Расчеты показали динамику процесса потери почвами органического вещества за период земледельческой цивилизации: 1) утрачено 313 млрд т углерода за 10 000 лет со средней скоростью 31 млн т/год; 2) 90 млрд т углерода за последние 300 лет со средней скоростью 300 млн т/год; 3) 38 млрд т углерода за последние 50 лет со средней скоростью 760 млн т/год.

Таким образом, современная скорость дегумификации почвенного покрова планеты за последние 50 лет возросла почти в 25 раз по сравнению со средней многовековой скоростью.

Многими исследованиями показано 4–6-кратное превышение скорости разложения почвенного органического вещества в тропиках по сравнению с умеренными широтами. Это, в частности, означает, что прогнозируемое повышение глобальной температуры на несколько граду-

сов в связи с парниковым эффектом приведет к резкому усилению дегумификации почв умеренного пояса.

Следствием потери гумуса является снижение запасов и доступности для растений и микроорганизмов элементов питания, снижение активности микроорганизмов, ухудшение структуры почвы, газообмена в них, окислительно-восстановительных условий.

С потерей гумуса связана утрата почвой ее агрономически ценной структуры. Гумусовые вещества — важнейший фактор формирования почвенных агрегатов, проявляющих устойчивость при разных видах эрозии почв. В.Р. Вильямс отмечал, что существенным фактором склеивания механических элементов почвы в структурные отдельные является свежесаженный перегной (источником которого является корневая система многолетних трав), который в присутствии ионов кальция играет роль цемента в связывании почвенных частиц.

Есть и другая сторона у явления дегумификации почв. Потеря гумуса почвенным покровом сопровождается повышением концентрации диоксида углерода в атмосфере. Вероятная оценка прибавки  $\text{CO}_2$  в атмосфере за счет минерализации почвенного гумуса составит около 1000 млрд т, что весьма существенно для развития парникового эффекта наряду с другими факторами (сжигание ископаемого и живого органического топлива, эмиссия закиси азота и техногенных аэрозолей, метаногенез). Парниковый же эффект вызовет потепление климата, а это, в свою очередь, будет способствовать повышению темпов дегумификации почв. Представляется реальной опасностью глобального ускорения процесса дегумификации почв. Развитие процесса дегумификации рассматривается исследователями как расширяющаяся спираль с непредсказуемыми негативными экологическими последствиями, вплоть до катастрофических.

## 6.2. Потеря почвами элементов питания

Агрэкоcистема — сфера и результат взаимодействия почвы, сельскохозяйственных растений и человека, восполняющего в почвах потерю элементов питания, выносимых регулярно с урожаем. По агрохимическим показателям пахотные почвы РФ преимущественно являются низкопродуктивными. В них недостаточно содержание всех элементов питания растений.

Сокращение объемов агротехнических и агромелиоративных мероприятий в агроэкосистеме ведет к снижению общего уровня культуры земледелия. Такие тенденции проявились в нашей стране в последние годы. На больших площадях пахотные почвы имеют низкий уровень содержания основных элементов питания, повышенную кислотность (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Площади сельскохозяйственных угодий  
с неудовлетворительными агрохимическими показателями  
(1994 г.), %

| Регион страны      | Повышенная кислотность | Низкое и очень низкое содержание элементов питания |                  |
|--------------------|------------------------|--|------------------|
|                    | (pH < 5,0 )            | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                      | K <sub>2</sub> O |
| Северный           | 33                     | 16   | 26               |
| Северо-Западный    | 47                     | 20   | 26               |
| Центральный        | 47                     | 20   | 31               |
| Волго-Вятский      | 34                     | 18   | 16               |
| Уральский          | 11                     | 43   | 9                |
| Восточно-Сибирский | 5                      | 37   | 10               |
| Дальневосточный    | 50                     | 57   | 12               |

Недостаточно обеспечены фосфором пахотные почвы Урала, Восточной Сибири, Дальнего Востока, Читинской и Челябинской областей, Хабаровского края (доля недостаточно обеспеченных фосфором почв превышает 60 % пахотных земель названных регионов). Низкая обеспеченность сельскохозяйственных земель калием отмечается в Туве, Республике Коми, в Ярославской, Калужской областях, в Северо-Западном и Центральном регионах.

За последние годы в России резко упало применение удобрений, что особенно отрицательно сказывается на почвах со столь ощутимым недостатком элементов питания (табл. 6.2).

К настоящему времени 56 млн га пашни характеризуются низким содержанием гумуса, 28 млн га — низким содержанием фосфора, 12 млн га — низким содержанием калия. В настоящее время на больших площадях минеральные удобрения не восполняют потери почвами элементов питания (табл. 6.2). Нередко вынос питательных веществ из

Таблица 6.2

**Баланс питательных веществ на пахотных землях РФ,  
кг/га посева (Деградация и охрана почв, 2002)**

| Статьи баланса         | 1986 – 1990 гг. | 1996 – 1999 гг. |
|------------------------|-----------------|-----------------|
| Внесено с удобрениями: | 147             | 13              |
| – минеральными         | 100             | 5               |
| – органическими        | 47              | 73              |
| Вынос, всего:          | 128             | 73              |
| – с урожаем            | 103             | 45              |
| – с сорняками          | 25              | 28              |
| Баланс (+, -)          | + 15            | -60             |
| Кэффициент возврата, % | 15              | -82             |

почв с урожаем и сорняками в несколько раз превышает их поступление с удобрениями. Внесение органических удобрений упало из-за сокращения поголовья скота и снижения добычи торфа.

Невосполнимая потеря почвами элементов питания растений является наиболее серьезной причиной деградации химических свойств почв сельскохозяйственных угодий страны.

Наряду с основными элементами питания почвы пахотных угодий РФ исходно недостаточно обеспечены микроэлементами, также необходимыми для нормального развития сельскохозяйственных растений. К микроэлементам первоочередной необходимости для растений относят цинк, медь, марганец, кобальт, молибден, бор. Особенно велика доля (80 – 96 %) почв, требующих внесения молибденовых, цинковых и кобальтовых удобрений. Доля площадей почв страны, нуждающихся во внесении медных удобрений, измеряется 51 %, марганцевых удобрений — 66 %. Признаки недостаточной обеспеченности сельскохозяйственных растений кобальтом, которые сказываются на их продуктивности, установлены на 45 % площадей, обеспеченности молибденом и бором — на 32 % и 12 % площадей соответственно. На 2000 – 2005 годы потребность почв пахотных угодий РФ в микроудобрениях (в тоннах каждого элемента) измеряется величинами: бора — 7540, молибдена — 1160, меди — 4800, цинка — 1710, марганца — 2770, всего около 19 000 т (Аристархов, 2002).

### 6.3. Загрязнение почв

#### 6.3.1. Общие представления о загрязняющих веществах

**Загрязнение экосистемы** — один из видов ее деградации, **загрязнение почв** — один из опаснейших видов деградации почв и экосистемы в целом. **Загрязняющие вещества** — это вещества антропогенного происхождения, поступающие в окружающую среду в количествах, превышающих природный уровень их поступления. Загрязнение почв — вид антропогенной деградации почв, при которой содержание химических веществ в почвах, подверженных антропогенному воздействию, превышает природный региональный фоновый уровень их содержания в почвах. В этом определении присутствуют необходимые и достаточные составляющие для раскрытия понятия «загрязнение почв». По-видимому, нет необходимости вводить в определение понятия загрязняющих веществ указания на опасность для живых организмов их избыточных количеств, так как любые вещества в избыточных количествах вредны для организмов. Точно так же нет необходимости называть в качестве основного критерия загрязнения окружающей среды различными веществами проявление признаков вредного действия этих веществ в окружающей среде на отдельные виды живых организмов, так как устойчивость отдельных видов последних к химическому воздействию существенно различается. Экологическую опасность представляет уже то, что в окружающей человека природной среде по сравнению с природными уровнями превышено содержание определенных химических веществ за счет их поступления из антропогенных источников. Эта опасность может реализоваться не только для самых чувствительных видов живых организмов.

Вовлечение человеком химических веществ в хозяйственную деятельность и включение их в цикл антропогенных превращений в окружающей среде постоянно растет. Количественной мерой процесса служит показатель «технофильности», предложенный А.И. Перельманом. Он равен отношению средней ежегодной мировой добычи соединений химических элементов (любой размерности, например, в тоннах в расчете на элемент) к кларку элемента в литосфере и позволяет выстроить химические элементы по величине этого показателя в определенный ряд. Высокая технофильность характерна для элементов, наиболее актив-

но используемых человеком, особенно для тех, естественный уровень которых в литосфере невысок. Наибольшей технофильностью характеризуются углерод, что является отражением активного использования в энергетике угля, нефти, горючих полезных ископаемых. С этим же связан высокий уровень загрязнения окружающей среды оксидами углерода. Высоки уровни технофильности широкого ряда металлов и металлоидов (Bi, Hg, Sb, Pb, Cu, Se, Ag, As, Mo, Sn, Cr, Zn), потребность в которых различных видов производств велика. При низком содержании этих элементов в породах ( $10^{-2}\%$ ,  $10^{-6}\%$ ) добыча их значительна. Это ведет к извлечению из недр земли колоссальных количеств руд, содержащих эти элементы, и к последующему глобальному рассеиванию их в окружающей среде.

Информативны и другие количественные характеристики антропогенного вовлечения химических элементов в их глобальные циклы на планете. Например, «фактор мобилизации», или «фактор техногенного обогащения (EF)», который рассчитывают как отношение техногенного потока химического элемента к природному потоку (табл. 6.3).

Таблица 6.3

**Сопоставление природных и техногенных потоков химических элементов (Lantzyand Maccenzie, 1979; Galloway, 1988)**

| Элемент | Эмиссия, 108 т/г |             | EF  |
|---------|------------------|-------------|-----|
|         | природная        | техногенная |     |
| Ag      | 0,6              | 50          | 83  |
| As      | 28               | 780         | 28  |
| Cd      | 2,9              | 55          | 19  |
| Cr      | 580              | 940         | 1,6 |
| Cu      | 190              | 2600        | 13  |
| Hg      | 0,4              | 110         | 440 |
| Mn      | 6100             | 3200        | 0,5 |
| Co      | 70               | 50          | 0,7 |
| Mo      | 11               | 510         | 45  |
| Ni      | 280              | 980         | 3,5 |
| Pb      | 40               | 4000        | 100 |
| Sb      | 9,8              | 380         | 39  |
| Sn      | 52               | 430         | 8,3 |
| V       | 650              | 2100        | 3,2 |
| Zn      | 360              | 8400        | 23  |

Уровень фактора техногенного обогащения, как и технофильность элементов, является не только показателем мобилизации их из литосферы в наземные природные среды, но и отражением уровня выбросов химических элементов с отходами производств в окружающую среду. Наибольшее значение этого показателя установлено для элементов Hg, Pb, Sb, Mo, Ag со средним содержанием их в земной коре  $10^{-6} - 10^{-5} \%$ .

Загрязнением на планете затронуто 10–15 % площадей, что значительно меньше площади земель, подверженных эрозии. Экологическая опасность явления состоит в том, что загрязняющие вещества, поступив в окружающую среду, неизбежно оказываются в составе живых организмов, а значит, и в организме человека. Их избыточные количества могут оказывать токсическое действие на живые организмы. Последствия таких нарушений труднопредсказуемы, так как часть из них закрепляется в организмах на генетическом уровне. По этой причине загрязнение ставят на одно из первых мест по опасности для жизни человека, для биосферы в целом. Загрязнение рассматривается как одна из возможных причин экологического кризиса.

Вредное действие избыточного количества различных химических веществ в окружающей среде на здоровье человека выявляется на основе анализа экотоксикологической обстановки в биогеохимических провинциях, отличающихся повышенным содержанием определенных химических элементов в природных объектах этих провинций, и здоровьем длительно проживающих здесь людей. Используются также результаты анализа закономерностей распространения профзаболеваний в областях производств, вызывающих загрязнение окружающей среды химическими элементами, специфическими для этих производств. (табл. 6.4).

Таблица 6.4

**Эффекты избирательной токсичности для человека некоторых загрязняющих элементов (OECD, Paris, 1991)**

| Элемент  | Заболевания   |
|----------|---|
| Мышьяк   | Рак легких, кожные болезни, изъязвление, гематологические эффекты, анемия |
| Бериллий | Дерматиты, воспаление слизистых оболочек                                  |



Окончание табл. 6.4

|         |   |
|---------|---|
| Кадмий  | Острые и хронические респираторные заболевания, почечная дисфункция, злокачественные образования                |
| Хром    | Рак легких, злокачественные образования желудочно-кишечного тракта, дерматиты                                   |
| Свинец  | Нарушения кроветворения, повреждение печени и почек, неврологические эффекты                                    |
| Ртуть   | Воздействие на нервную систему, нарушение краткосрочной памяти, нарушение координации, почечная недостаточность |
| Никель  | Респираторные заболевания, астма, поражение плода, уродства   |
| Ванадий | Раздражение дыхательных путей, астма, нервные расстройства, изменение формулы крови                             |

Токсическое действие различных химических веществ на живые организмы характеризуют общесанитарным показателем, в качестве которого часто используют показатель ЛД-50, который показывает массу вещества, поступившего (с водой, воздухом, пищей) в организм подопытных животных (мышей, крыс) и вызвавшего гибель 50 % из них. Размерность этого показателя — мг вещества/кг массы подопытного животного.

С экологической точки зрения важна не только токсичность вещества, но и его способность сохраняться в почве, в растениях, их способность к миграции, их влияние на пищевую ценность сельскохозяйственных продуктов.

В 1983 году в бывшем СССР на основании этих показателей были выделены три класса загрязняющих веществ (табл. 6.5).

Таблица 6.5

## Классы загрязняющих веществ (ГОСТ 17.4.1.0283)

| Класс | Степень опасности | Элементы, вещества                      |
|-------|-------------------|---|
| 1     | Высокоопасные     | As, Cd, Hg, Se, Pb, F, Zn, бенз(а)пирен |
| 2     | Умеренноопасные   | B, Cu, Ni, Mo, Co, Sb, Cr               |
| 3     | Малоопасные       | Ba, Mn, V, W, Sr, ацетофенон            |

В Программе МАБ наиболее опасными для окружающей среды названы тяжелые металлы, пестициды, оксиды углерода и азота.

### *6.3.2. Виды загрязняющих веществ, их источники и влияние на состояние почв*

Существуют различные классификации загрязняющих веществ. Они опираются на разные критерии: на антропогенные источники их поступления (промышленность, транспорт и пр.), на режимы поступления в окружающую среду (спонтанный, регулируемый и пр.), на их фазовое состояние (твердофазные, аэрозоли и пр.) и другие признаки. Наиболее эффективной является классификация загрязняющих веществ по их химическим свойствам, так как именно химические свойства определяют перераспределение и трансформацию поллютантов в окружающей среде. Выделяются следующие группы загрязняющих веществ: а) оксиды углерода, серы, азота; б) металлы и металлоиды; в) органические поллютанты. Отдельно стоят радиоактивные вещества, губительное действие которых связано с их проникающей радиацией, а не с химическим воздействием на живые организмы.

Поступление в окружающую среду любых загрязняющих веществ обеспечивается всеми видами хозяйственной деятельности человека. Поступают загрязняющие вещества с отходами промышленности (добыча полезных ископаемых, металлургическая, химическая промышленность и др.), предприятий энергетики (тепловые электростанции), транспорта (выхлопные газы различных видов транспорта, стирающиеся покрытия автодорог). Нефть и нефтепродукты загрязняют окружающую среду в районах нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий. В сфере сельскохозяйственной деятельности с земледелием связано загрязнение среды различными химическими веществами, поступающими с остаточными количествами ядохимикатов, входящих в состав сопутствующих средств химизации: традиционных и нетрадиционных удобрений, мелиорантов, оросительных вод. В сфере животноводства окружающая среда загрязняется отходами стойлового содержания животных, органическими веществами стоков и твердых отходов. Коммунально-бытовая деятельность ведет к загрязнению среды дымовыми газами, бытовыми сточными водами, твердыми бытовыми отходами, экзоген-

ными химическими веществами, используемыми в быту. Радиоактивное загрязнение связано с выбросами отходов атомной промышленности.

*6.3.3. Загрязнение окружающей среды оксидами углерода, серы, азота и вызванные ими нарушения экологического состояния почв*

Техногенное поступление в окружающую среду оксидов углерода, серы, азота преимущественно связано с сжиганием топлива (угля, нефти, газа). Техногенные источники вносят существенный вклад в формирование современного состава атмосферы. Таблица 6.6 показывает соотношение природных и техногенных составляющих в газовой фазе атмосферы.

Таблица 6.6

Глобальное поступление химических веществ в атмосферу из природных и техногенных источников (Жорте, 1996)

| Вещество               | Эмиссия   |               | Антропогенная эмиссия, % от общей эмиссии |
|------------------------|-----------|---------------|---|
|                        | природная | антропогенная |   |
|                        | млн т/г   |               |   |
| CO <sub>2</sub>        | 600 000   | 22 000        | 3.5                                       |
| CO                     | 3 800     | 550           | 13  |
| Аэрозоли               | 3 700     | 246           | 6   |
| Углеводороды           | 2 600     | 90            | 3   |
| CH <sub>4</sub>        | 1 600     | 110           | 6   |
| NH <sub>3</sub>        | 1 200     | 7             | 0.6                                       |
| NO <sub>2</sub> , NO   | 770       | 53            | 6.5                                       |
| Соединения серы        |           |               |   |
| Из них SO <sub>2</sub> | 304       | 150           | 33  |
|                        | 20        | 150           | 88  |
| N <sub>2</sub> O       | 145       | 4             | 3   |

За счет антропогенных источников содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере повышается. Локальных или региональных экологических последствий это событие не имеет. Но все более значимым становится влияние его на глобальном уровне. За счет увеличения объема сжигаемого топлива только за последнюю четверть века среднее содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере промышленных регионов повысилось по сравнению с фоновым почти на 10 %. Предполагается, что ежегодно увеличивается поступление CO<sub>2</sub> на 0,3 %. Увели-

чение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере — одна из причин «парникового эффекта», который ведет к повышению температуры на планете.

На локальном уровне проявляется токсичное действие монооксида углерода  $\text{CO}$  (угарного газа). Основные техногенные источники поступления  $\text{CO}$  в атмосферу: транспорт и предприятия энергетики.  $\text{CO}$  образуется при сжигании любых видов топлива (нефти, угля, древесины) как промежуточный продукт окисления органических веществ. Но основной техногенный источник поступления в атмосферу монооксида углерода — выхлопные газы автомобилей. Его поступления с выхлопными газами автомобилей более чем на порядок превышают поступление с отходами заводов, электростанций. В атмосфере может сохраняться до трех лет.

Что касается оксидов азота (моно- и диоксидов), оценки вклада различных отраслей производства в загрязнение ими атмосферы различаются. Бесспорно одно: высокий уровень их поступления с отходами сжигания топлива, 50–80 % от общего количества, выбрасываемого в атмосферу. Вторым по влиянию на загрязнение атмосферы оксидами азота является автотранспорт. Токсичность диоксида азота выше, чем монооксида азота.

Так же, как углерод и азот, сера является обязательным компонентом природных органических веществ. По этой причине велико влияние на загрязнение атмосферы оксидами серы сжигания нефти, угля, газа, древесины. По обобщенным данным, отходы топливной энергетики обеспечивают не менее 55 % от общего объема выбросов оксидов серы, среди которых преобладает диоксид серы. Вносят вклад также металлургическая промышленность (25 % от общего поступления), очистка и переработка нефти и угля (10 %), химическая промышленность, транспорт и другие виды хозяйственной деятельности человека (10 %). В таблице 6.7 показан один из примеров вклада различных источников в загрязнение атмосферы оксидами серы и азота.

Общепланетарное техногенное поступление диоксида серы в атмосферу, по разным источникам, составляет в среднем 140–290 млн т в год. Предполагается, что в XXI веке выброс диоксида серы увеличится в 3–5 раз. Сернистый ангидрид  $\text{SO}_2$  преобладает среди других соединений серы техногенного происхождения, по разным источникам, это превышение колеблется от 1,5–2 раз до 7–8 раз.

Таблица 6.7

**Источники поступления в атмосферу оксидов серы и азота  
в восточных штатах США (по Небелу, 1993)**

| Загрязняющие вещества | Угольные электростанции | Промышленные котельни | Промышленные производства | Выхлопные газы автомобилей | Прочие |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|--------|
| Диоксид серы          | 74                      | 14                    | 8                         | —                          | 4      |
| Оксиды азота          | 34                      | 17                    | —                         | 44                         | 5      |

Действие оксидов азота и оксидов серы на экосистему проявляется на локальном, региональном и глобальном уровнях. Экологическая опасность локального и регионального загрязнения атмосферы оксидами серы и азота состоит в том, что они способны растворяться в атмосферных осадках с образованием серной и азотной кислот и проливаться на земную поверхность в форме кислотных дождей.

Кислотные осадки — атмосферные осадки, имеющие более кислую (по сравнению с региональными фоновыми уровнями) реакцию за счет повышенного содержания в них серной и азотной кислот техногенного происхождения. Дождевая вода обычно имеет слабокислую реакцию ( $\text{pH} = 5,6$ ), что обусловлено растворением в ней углекислого газа атмосферы. Кислотными называют осадки,  $\text{pH}$  которых ниже 5,5, и во многих промышленно развитых странах мира кислотность дождевой воды повышается на порядок и более, особенно кислотность росы и тумана.

Основная часть выбросов  $\text{SO}_2$  (94 %) приходится на Северное полушарие, где сконцентрирована преимущественно мировая промышленность. В Европе главными его источниками являются промышленные комплексы Германии и Великобритании.

Дальность распространения газов в атмосфере составляет в среднем 300—400 км, может достигать 1—2 тыс. км. На территории многих стран Европы до половины и более от общего количества сернистых соединений поступает из соседних стран.

Защеление почв — локальное или региональное повышение (по сравнению с региональными фоновыми уровнями) кислотности почв за счет действия антропоген-

ных факторов. Такими факторами наряду с кислотными осадками может быть применение физиологически кислых удобрений (например, сульфата аммония).

В нашей стране природными факторами обеспечено широкое распространение кислых почв. В различных районах нашей страны на их долю приходится от  $\frac{1}{3}$  до половины пахотных земель, среди которых преобладают сильно- и среднекислые почвы. Это почвы Республики Коми, Саха-лина, Амурской, Пермской, Пензенской и других областей.

Наблюдения в районах интенсивных выпадений кислотных осадков показывают, что изменения рН почвы достигает 0,5–2,0 единиц. Причем в менее кислых почвах величины рН снижаются в большей степени, чем в почвах, имеющих более низкие значения рН (Соколова, Дронова, 1993).

При закислении почв повышается растворимость почвенных алюмосиликатов, усиливается преобразование несиликатных окристаллизованных форм Fe и Al в аморфные. Активизируется выщелачивание из почвенно-поглощающего комплекса биогенных элементов Ca, Mg, K, Na, повышается содержание в нем ионов алюминия, железа.

Закисление почв даже при отсутствии загрязнения их металлами может вызвать повышение растворимости этих соединений в почве, к увеличению их содержания в почвенном растворе до избыточного. Отрицательное действие металлов на живые организмы может быть связано не только с повышением их концентрации в растворе, но и с изменением соотношения обеспечивающих эту концентрацию ионов металлов. Например, среди соединений алюминия жидкой фазы почв начинают преобладать мономеры свободных ионов, а они более токсичны. Многие растения чувствительны к алюминию, повышение растворимости в его соединений в почвах может способствовать снижению уровня почвенного плодородия.

Подкисление сопровождается изменением подвижности и других элементов питания растений за счет повышения растворимости их соединений, что может нарушать их соотношение в растворе и сопровождаться неблагоприятными экологическими последствиями.

Эффект закисления почв зависит от буферной способности почвы, от их способности нейтрализовать кислоты. Карбонатные почвы в качестве буфера, способного нейтрализовать избыточное поступление кислот в почвенный раствор, содержат карбонат кальция, именно поэтому на

юге нашей страны проблема подкисления почв неактуальна. Различия в исходной кислотности почв сопровождаются сменой ведущих факторов, обуславливающих нейтрализацию протонов техногенного происхождения. В так называемом «силикатном» диапазоне буферности почв к кислоте (рН 5,0–6,2) имеет значение высвобождение катионов I и II групп, а при рН 4,2–5,0 — участие реакций ионного обмена. При более кислой реакции и высокой ненасыщенности ППК основаниями буферность почв обеспечивают реакции растворения алюмосодержащих минералов и несиликатных соединений железа.

Кислотно-основные условия влияют на поглощательную способность твердых фаз почвы амфолитоидной природы. При подкислении почв снижается их способность поглощать катионы, что способствует их выносу из почвенного профиля.

#### *6.3.4. Загрязнение почв металлами и металлоидами*

К тяжелым металлам относят более 40 химических элементов, масса атомов которых превышает 50 атомных единиц. Среди металлоидов в составе загрязняющих веществ находят As, Sb, Se, В, Мо.

Самыми мощными поставщиками отходов, обогащенных металлами, являются предприятия по выплавке цветных металлов (алюминиевые, глиноземные, медно-цинковые, свинцово-плавильные, никелевые, титано-магниевого, ртутные и др. заводы), а также по переработке цветных металлов (радиотехнические, электротехнические, приборостроительные, гальванические и пр.). О степени обогащения твердофазных отходов этих предприятий свидетельствуют коэффициенты концентрирования в них ТМ, которые представляют собой отношение массовой доли ТМ в отходах к содержанию ТМ в фоновой почве (или его кларку). В таблице 6.8 показан пример накопления ТМ в промышленных отходах.

В пыли металлургических производств, заводов по переработке руд концентрация Pb, Zn, Bi, Sn может быть повышена по сравнению с литосферой на несколько порядков (до 10–12), концентрация Cd, V, Sb — в десятки тысяч раз, Cd, Mo, Pb, Sn, Zn, Bi, Ag — в сотни раз. Отходы предприятий цветной металлургии, заводов лакокрасочной промышленности и железобетонных конструкций обогаще-

Таблица 6.8

**Коэффициенты концентрирования химических элементов  
в отходах гальванического производства**

| Элемент | Осадки на фильтрах | Абразивная пыль | Элемент | Осадки на фильтрах | Абразивная пыль |
|---------|--------------------|-----------------|---------|--------------------|-----------------|
| Cr      | 265                | 318             | Cd      | 85700              | 2               |
| Cu      | 340                | 31              | Sn      | 3200               | 4               |
| Zn      | 217                | 5               | Pb      | 374                | 2               |
| V       | 90                 | 669             | Bi      | 3300               | 2               |
| Ag      | 1000               | 29              | W       | 2                  | 3322            |

ны ртутью. В пыли машиностроительных заводов повышена концентрация W, Cd, Pb. Так формируются техногенные ассоциации химических элементов (табл. 6.9).

Таблица 6.9

**Техногенные ассоциации химических элементов в отходах  
различных отраслей промышленности**

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| Цветная металлургия     | Pb, Zn, Cu, Hg, Mn |
| Черная металлургия      | Ni, Mn, Pb, Cu, Zn |
| Энергетика              | B, As, Sb, Se      |
| Нефтяная промышленность | Pb Cu = Ni Zn Mn   |

Под влиянием обогащенных металлами выбросов формируются ареалы загрязнения ландшафта преимущественно на региональном и локальном уровнях.

Влияние предприятий энергетики на загрязнение окружающей среды обусловлено не концентрацией в их отходах металлов, а их огромным количеством. Масса отходов, например, в промышленных центрах, превышает их суммарное количество, поступающее от всех других источников загрязнения. Отходы предприятий энергетики, например зола углей, отличается присутствием в них металлоидов, такие как бор, сурьма, селен, молибден и др., но степень их концентрирования в отходах относительно невысока и редко достигает порядка.

С выхлопными газами автомобилей в окружающую среду выбрасываются значительные количества свинца, которые превышают их поступление с отходами металлургических предприятий. В цивилизованных странах запре-



щено применение этилированного бензина, содержащего тетраэтилсвинец.

Пахотные почвы загрязняются такими элементами, как ртуть, мышьяк, свинец, бор, медь, олово, висмут, которые попадают в почву в составе ядохимикатов, биоцидов, стимуляторов роста растений, структурообразователей. Нетрадиционные удобрения, изготовляемые из различных отходов, часто содержат большой набор загрязняющих веществ с высокими концентрациями. Из традиционных минеральных удобрений фосфорные удобрения содержат чаще всего примеси Sr, F, так как они сопутствуют фосфоритам и особенно апатитам, которые служат сырьем для приготовления различных видов фосфорных удобрений. О размерах реального поступления ряда элементов с фосфорными удобрениями свидетельствует таблица 6.10.

Таблица 6.10

Содержание в суперфосфате металлов (мг/кг), поступающих в слой почвы 0–5 см при дозе внесения 1000 кг/га (Гапонюк, 1985)

| Удобрение           | F  | Mn  | Zn  | Ni   | Cr  | Pb  | Cu   | Cd    |
|---------------------|----|-----|-----|------|-----|-----|------|-------|
| Суперфосфат простой | 12 | 1   | 0.3 | 0.05 | 0.1 | 0.1 | 0.04 | 0.004 |
| Суперфосфат двойной | 8  | 1   | 0.3 | 0.03 | 0.1 | 0.1 | 0.03 | 0.007 |
| Фоновая почва       | 1  | 850 | 850 | 40   | 200 | 30  | 20   | 0.5   |

Увеличения общего содержания металлов в почвах под влиянием фосфорных удобрений, как правило, не происходит. Однако подвижность Cd и Sr в таких почвах может быть повышена.

Анализируя сельскохозяйственные источники загрязнения биосферы, следует отметить влияние не только примесей, присутствующих в удобрениях, но и самих действующих веществ, распыление которых в экосистеме сопровождает их полезное действие. Подсчитано, что из 23 млн т азота удобрений, вносимых в почву на планете, с урожаем выносятся 12 млн т, а 7–8 млн т попадает в атмосферу за счет денитрификации, 2 млн т уходит с поверхностным и подземным стоком. В некоторых европейских реках, начиная с 1960 года, концентрация нитратов росла со скоростью 0,15 мг/л в год, периодически она превыша-

ла предельно допустимый уровень в 22,6 мг/л. Выделение азотных соединений из почвы в атмосферу — это не только экономические потери, но и прямая угроза озоновому слою планеты и вклад в парниковый эффект.

Соединения фосфора, вносимые с удобрениями, вследствие водной эрозии с полей поступают в озерные и речные воды. Эфтрификация водоемов — следствие потерь биогенных элементов, внесенных в почвы с удобрениями.

Распределение в ландшафте поступивших в атмосферу из техногенных источников металлов и металлоидов зависит от расстояния от источника загрязнения, от климатических условий (сила и направление ветров), от рельефа местности, от технологических факторов (состояние отходов, способ поступления отходов в окружающую среду, высота труб предприятий).

Загрязнение почв происходит при поступлении в окружающую среду техногенных соединений металлов и металлоидов в любом фазовом состоянии. В целом на планете преобладает аэрозольное загрязнение. При этом наиболее крупные частицы аэрозолей (>2 мкм) выпадают в непосредственной близости от источника загрязнения (в пределах нескольких км), формируя зону с максимальной концентрацией поллютантов. Загрязнение прослеживается на расстоянии десятков км. Размер и форма ареала загрязнения определяется влиянием вышеуказанных факторов.

Аккумуляция основной части загрязняющих веществ наблюдается преимущественно в гумусово-аккумулятивном почвенном горизонте. Связываются они алюмосиликатами, несиликатными минералами, органическими веществами за счет различных реакций взаимодействия. Часть их удерживается этими компонентами прочно и не только не участвует в миграции по почвенному профилю, но и не представляет опасности для живых организмов. Отрицательные экологические последствия загрязнения почв связаны с подвижными соединениями металлов и металлоидов. Их образование в почве обусловлено концентрированием этих элементов на поверхности твердых фаз почв за счет реакций сорбции-десорбции, осаждения-растворения, ионного обмена, образования комплексных соединений. Все эти соединения находятся в равновесии с почвенным раствором и совместно представляют систему почвенных подвижных соединений различных химических элементов. Количество поглощенных элементов и прочность их удерж-

живания почвами зависят от свойств элементов и от химических свойств почв. Влияние этих свойств на поведение металлов и металлоидов имеет и общие и специфические черты. Количество поглощенных элементов линейно зависит от присутствия тонкодисперсных глинистых минералов и органических веществ. Увеличение кислотности сопровождается повышением растворимости соединений металлов, но ограничением растворимости соединений металлоидов. Влияние несиликатных соединений железа и алюминия на поглощение поллютантов зависит от кислотно-основных условий в почвах.

В условиях промывного режима потенциальная подвижность металлов и металлоидов реализуется, и они могут быть вынесены за пределы почвенного профиля, являясь источниками вторичного загрязнения подземных вод.

Соединения тяжелых металлов, входящие в состав тончайших частиц (микронных и субмикронных) аэрозолей, могут поступать в верхние слои атмосферы и переноситься на большие расстояния, измеряемые тысячами км, т. е. участвовать в глобальном переносе веществ.

### *6.3.5. Загрязнение почв остаточными пестицидами*

**Пестициды** — это химические вещества, предназначенные для уничтожения вредителей сельского хозяйства, сорной растительности. К этой же группе относят и дефолианты. Мировой ассортимент пестицидов насчитывает более 100 тыс. наименований, годовое производство пестицидов в мире превышает 2 млн т. Они применяются в широких масштабах для борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений и древесных насаждений, для уничтожения кровососущих паразитов животных и человека. Высокая экономическая эффективность этих веществ обуславливает неуклонный рост их применения, особенно в интенсивных технологиях; гербициды, например, снижают засоренность полей на 70—95 %, потери урожая за счет использования химических средств защиты снижаются в 2—3 раза.

Эффективность действия пестицидов зависит от их состава и свойств. Различные группы пестицидов представлены: карбоновыми кислотами и их производными, производными карбаминовой кислоты, фосфорорганическими соединениями, хлорорганическими веществами.

Исходно предполагается, что действие пестицидов ограничивается сферой их назначения. Но в почве могут относительно долго сохраняться их остаточные количества. Они и проявляют себя как загрязняющие вещества.

В общей массе загрязняющих веществ доля пестицидов не велика — всего 0,2 %. Будучи задуманы для уничтожения живых организмов (биоциды — буквально обозначает «убивающие жизнь»), они опасны высокой биологической активностью. Сохраняясь в почве, они могут по пищевым цепям попасть в продукты питания. Пестициды влияют на все звенья системы почва — корма — животные — продукция — человек. Помимо прямого действия они могут создавать метаболиты, значение которых для всего живого еще не познано.

Устойчивость остаточных пестицидов к разложению зависит от структуры веществ, входящих в их состав, и от влияния природных условий: температуры, свойств почвы, почвенной биоты. К наиболее устойчивым относится большинство хлорорганических пестицидов, которые могут сохраняться в почве 18 месяцев и более. Карбоновые, карбаминовые кислоты и их производные менее устойчивы. Скорость разложения пестицидов зависит не только от свойств препарата, но и от температуры и влажности почв. Например, симазин в жарком и влажном климате может разложиться за 5–6 месяцев, а в менее благоприятных условиях он сохраняется в течение 2–3 лет. Влияние кислотно-основных условий, содержания гумуса, носит нелинейный характер. Так, высокая сорбционная способность почв снижает скорость деструкции пестицидов. В то же время гумус, содержание которого увеличивает сорбционную способность почвы, может играть и каталитическую роль, повышая скорость разложения пестицидов.

Становится почти обязательным наличие остаточных количеств пестицидов в пахотных почвах, интенсивные системы земледелия становятся все более «грязными» системами. Ведутся поиски альтернативных систем земледелия, не влекущих за собой загрязнение природной среды.

С 1972 года существует международная ассоциация «Движение за органическое сельское хозяйство», объединяющая более 30 преимущественно промышленно развитых стран. Это движение пропагандирует так называемое биологическое земледелие. Оно должно обеспечить развитие двух направлений земледелия: 1) биолого-динамическое направление, которое рассматривает не только проблемы

сельского хозяйства, но и взаимоотношение человека с окружающей средой в целом и является по сути не только технологической инновацией, но и определенным мировоззрением; 2) органо-биологическое направление, называемое также биолого-органическим, органическим, натуральным, экологическим, альтернативным.

Первое из этих направлений делает упор на ручной труд и полное исключение химикатов, второе — на системы обработки почвы и допускает минимальное использование пестицидов. В целом удельный вес ферм, применяющих альтернативные системы земледелия, незначителен: в Нидерландах — 0,15 %, в Швеции — 0,07 %. Как отмечают специалисты США, в случае массового перехода к органическим системам земледелия средняя урожайность пшеницы снижается с 29–31 до 16–19 ц/га. На образцовых фермах, практикующих биологическое земледелие, урожайность зерновых культур в среднем на 25 % ниже, чем в обычных хозяйствах. Однако рентабельность таких ферм достаточно высока ввиду экономии на минеральных удобрениях, пестицидах, но самое главное — за счет более высокой цены на экологически чистую продукцию.

### *6.3.6. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами*

**Нефть** — жидкое горючее полезное ископаемое. **Нефтепродукты** — это товарная сырая нефть, прошедшая первичную подготовку на промысле, и продукты ее переработки, используемые в разных видах хозяйственной деятельности. Загрязнение окружающей среды этими веществами обусловлено огромными масштабами использования нефти во всем мире. Ежегодная мировая добыча сырой нефти составляет свыше 2,5 млрд т, причем спрос на нефть продолжает расти и увеличивается в год примерно на 8 %, соответственно растет и добыча нефти — в среднем на 5 % в год. При добыче, транспортировке, переработке, использовании нефти и нефтепродуктов потери их составляют около 50 млн т в год (Рябчиков, 1974). Основные причины потери — аварии на нефтепромыслах, разрывы нефтепроводов.

Экологические последствия загрязнения ландшафта нефтью и нефтепродуктами зависят от свойств и нефти и ландшафта. Нефть — смесь более чем 450 различных веществ, преимущественно углеводородов с различными молекулярными массами и разными свойствами. В жидких

углеводородах растворены твердые и газообразные. В воде они практически нерастворимы.

Важной характеристикой влияния нефти и нефтепродуктов на почву является соотношение легких и тяжелых фракций. Летучие фракции обладают повышенной токсичностью для обитателей почвы, но действие их кратковременно. Тяжелые фракции нефти малоподвижны и могут создавать в почве устойчивый очаг загрязнения. Богатые смолами, асфальтенами, парафинами, компоненты нефти закупоривают поры и каналы почвы, играют роль цемента, связывающего почвенные частицы. Тем самым они нарушают влагообмен в почвах, изменяют их водно-физические свойства. Обволакивая корни растений, тяжелые фракции нефти снижают поступление к ним влаги.

Соотношение содержания компонентов нефти определяет скорость испарения, вымывания и разрушения их в почве. Основные абиотические процессы трансформации нефти и нефтепродуктов — окисление и фотохимическое разложение. Большое значение имеет их микробиологическая трансформация, в результате которой возможно разложение исходных веществ до низкомолекулярных и включение их в последующие этапы трансформации, а также встраивание фрагментов исходных компонентов нефти в макромолекулы природных органических веществ.

В целом в загрязненных нефтью почвах отмечается: 1) нарушение экологического равновесия в почвенной системе; 2) изменение морфологических, физических, физико-химических и химических характеристик почвенных горизонтов и строения почвенного профиля; 3) нарушение природного соотношения между отдельными группами и фракциями органического вещества почв; 4) проникновение нефти и нефтепродуктов в грунтовые воды; 5) снижение почвенного плодородия и возникновение токсикологически опасных ситуаций. Самоочищение почвы от нефти зависит от климатических условий (осадки, температура), свойств почв (содержание гумуса, pH, гранулометрический состав и т. д.).

И пестициды и нефть относятся к группе органических поллютантов. В составе тех и других наиболее экологически опасными являются полиароматические углеводороды (ПАУ). Опасность их обусловлена высокой устойчивостью к воздействию как абиотических факторов, так и к микробиологической деструкции, а также их высокой токсичностью.

Поступление в окружающую среду одного из наиболее опасных из ПАУ — бенз(а)пирена в основном происходит с выхлопными газами автомобилей.

### 6.3.7. Радиоактивное загрязнение почв

Почва как природное образование, содержит в своем составе радиоактивные элементы естественного происхождения. Радиоактивные элементы — это неустойчивые химические элементы, способные к радиоактивному распаду, который сопровождается испусканием энергии. Естественной радиоактивностью обладают прежде всего уран и торий, встречающиеся в составе руд и минералов. Все остальные естественные радиоактивные элементы являются спутниками урана и тория (полоний, астатин, радон, франций, радий, актиний и др.), они не имеют стабильных изотопов и в природе находятся в рассеянном состоянии. Существует несколько химических элементов (калий, рубидий, и др.), которые в природе наряду со стабильными изотопами имеют и радиоактивные изотопы. Эти элементы не относят к радиоактивным.

Распространенные в окружающей среде в настоящее время радиоактивные изотопы — искусственные, их происхождение связано с ядерными реакциями. Источниками их получения служат уран и плутоний, ядра которых под действием нейтронов становятся источниками колоссального количества тепловой энергии.

Скорость радиоактивного распада обычно характеризуют периодом полураспада. Наиболее опасны для живых организмов радионуклиды с наибольшим периодом полураспада, так как, накапливаясь в организмах, они многие годы сохраняют свою активность (табл. 6.11).

Таблица 6.11

Период полураспада основных радионуклидов

| Изотоп радиоактивного элемента | Период полураспада |
|--------------------------------|--------------------|
| Калий-42                       | 12,4 часа          |
| Радон-222                      | 3,8 суток          |
| Йод-131                        | 8 суток            |
| Кобальт-60                     | 5,27 года          |
| Стронций-90                    | 28,5 года          |
| Цезий-137                      | 30,2 года          |

|              |            |
|--------------|------------|
| Цинк-65      | 250 лет    |
| Углерод-14   | 5568 лет   |
| Плутоний-239 | 24 400 лет |

Источником загрязнений радионуклидами чаще всего являются предприятия ядерно-топливного цикла. Известен печальный опыт действия предприятия «Маяк» в Челябинской области. Многие годы из накопителей жидких отходов предприятия в реку Течу (бассейн р. Оби) попадало большое количество жидких радиоактивных веществ. Особенно значительное загрязнение получило небольшое озеро Карачай, в котором накопились жидкие отходы с радиоактивностью в 120 млн Ки. В результате крупной аварии на «Маяке» в 1957 году в Челябинской области образовался так называемый Восточно-Уральский радиоактивный след. Загрязнению подверглась территория протяженностью около 300 км, где распространились радионуклиды с активностью 2 млн Ки.

К трагическим последствиям привела катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 году. При этом в атмосферу поступило около 1,9 ЭБк активности. Радиоактивному загрязнению подверглись территории практически всего Северного полушария, но в наибольшей степени от аварии пострадали Украина, Белоруссия и центральные районы России. Степень загрязнения оказалась максимальной близ эпицентра аварии и сильно зависела от атмосферной циркуляции в момент аварии (табл. 6.12).

Таблица 6.12

## Радиоактивные выпадения после чернобыльской аварии

| Страна    | Цезий-137                                  |                                   | Йод-131                                    |                                   |
|-----------|--|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
|           | Максимальные выпадения, кБк/м <sup>2</sup> | Отношение к средним выпадениям, % | Максимальные выпадения, кБк/м <sup>2</sup> | Отношение к средним выпадениям, % |
| 1         | 2  | 3                                 | 4  | 5                                 |
| Австрия   | 60   | 2,6                               | 700  | 5,8                               |
| Швеция    | 190  | 23                                | 950  | 22                                |
| Норвегия  | 100  | 9                                 | ?  | ?                                 |
| Италия    | 100  | 15                                | 500  | 16                                |
| Германия  | 65   | 11                                | 160  | 10                                |
| Швейцария | 41   | 5,1                               | 180  | 4,9                               |



Окончание табл. 6.12

| 1              | 2     | 3   | 4     | 5   |
|----------------|-------|-----|-------|-----|
| Финляндия      | 30    | 3,3 | 190   | 3,7 |
| Греция         | 28    | 5,3 | 60    | 2,6 |
| Ирландия       | 22    | 4,4 | 16    | 2,3 |
| Великобритания | 20    | 14  | 40    | 8   |
| Нидерланды     | 9     | 3,3 | 26    | 1,2 |
| Франция        | 7,6   | 4,0 | ?     | ?   |
| Люксембург     | 7,3   | 1,8 | 40    | 2,1 |
| Дания          | 4,6   | 2,7 | 4,2   | 2,5 |
| Бельгия        | 3,0   | 2,3 | 10    | 2,6 |
| Турция         | 0,9   | 11  | 8     | 9,1 |
| Исландия       | 0,1   | —   | Следы | —   |
| Испания        | 0,04  | 10  | 0,09  | 9   |
| Португалия     | 0,01  | 4   | 0,01  | 2,6 |
| Канада         | 0,07  | 1,5 | 0,24  | 2,4 |
| США            | Следы | —   | 1,9   | 1,3 |

Общая площадь радиоактивного загрязнения территории России цезием-137 составила около 60 млн км<sup>2</sup> с плотностью загрязнения выше 1 Ки/км<sup>2</sup>. Наибольшему загрязнению подверглись Брянская, Тульская, Калужская и Орловская области. Всего пострадало 19 областей и республик европейской части России. Так, в Ростовской области общая площадь загрязнения радионуклидами составила 1,2 млн га. В Матвеево-Курганском и Куйбышевском районах загрязнение <sup>137</sup>Cs превысило ПДК. Повышенный фон отмечен в Ремонтненском и Заветинском районах.

Суммарная активность выбросов во время чернобыльской катастрофы достигла 5·10<sup>7</sup> Ки. По международной шкале аварий на атомных станциях чернобыльская авария — это глобальная катастрофа. В первые два месяца после аварии наибольшая опасность исходила от короткоживущих радионуклидов, прежде всего йода, бария, лантана, рутения. Затем «йодный» период сменился «цезиевым». Он продолжается и сейчас, так как период распада цезия длится значительно дольше.

## ГЛАВА 7

# ДЕГРАДАЦИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

Микроорганизмы почвы выполняют важнейшие функции в экосистеме. Значение их обусловлено высоким биохимическим эффектом деятельности микроорганизмов, который во всех случаях тем выше, чем больше скорость размножения организмов, чем короче их жизненный цикл и больше численность в биосфере (Одум, 1986). Имея наименьшие размеры (в пределах нескольких мкм), микроорганизмы характеризуются наибольшими скоростями размножения. У микроорганизмов высокий энергетический обмен, они являются главными агентами трансформации различных химических веществ в биосфере.

Значение почвенных микробиологических процессов может быть сопоставимо только с фотосинтезом. Именно они осуществляют в почве разложение растительных и животных остатков, превращая их в новые органические вещества, которые при взаимодействии с минеральными компонентами придают почве все ее специфические свойства. Почвенные микроорганизмы играют важнейшую роль в трансформации не только соединений основных биогенных элементов (углерода, азота, фосфора, серы), но и соединений всех химических элементов. Основательно изучено влияние микроорганизмов на почвенные соединения железа и марганца.

Почвенный микробоценоз представляет собой природную систему. Способ функционирования системы — взаимосвязь почвы и ее микроорганизмов. По этой причине все виды антропогенной деградации почв сказываются на состоянии почвенных микроорганизмов. И различные виды сельскохозяйственной деятельности (внесение минеральных удобрений и других средств химизации, орошение, системы обработки почв), и загрязнение почв аэрозольными, жидкими, твердыми отходами влияют на химические свойства почв, нарушают в почве условия существования

микроорганизмов. Функционирование микробиоты почвы нарушается под влиянием эрозии, переуплотнения, переувлажнения, засоления и других деградационных процессов. Химическое загрязнение — одна из мощных причин деградации микробиологического состояния почв. Все эти процессы, сказывающиеся на состоянии микробоценоза, тем самым влияют на важнейшие биохимические свойства почв и на состояние всех химических элементов.

Реакция микроорганизмов зависит от множества факторов: от вида воздействия, меры и режима воздействия, вида микроорганизмов, свойств почв. Отражают влияние антропогенных видов воздействия на микробоценоз численность микроорганизмов, их видовой состав, показатели их активности.

Почвенные биокосные системы, характеризующиеся взаимодействием органических и минеральных, биотических и абиотических компонентов, являются гетерогенными, многофункциональными и динамическими. Микроорганизмы способствуют изменению формы нахождения загрязняющих веществ, например металлов, в почвах. Они способны адсорбировать их на своей поверхности, которая велика у микроскопически малых организмов. Что касается полютантов, закрепленных на поверхности твердых фаз почвы, они становятся менее доступными для микробиологической трансформации. Наиболее четко эта закономерность проявляется на легких и малогумусных почвах.

Воздействие загрязняющих веществ может носить характер острых (мощное непродолжительное, но катастрофическое воздействие) и хронических (длительное воздействие с невысокой интенсивностью), реакция микробоценоза в этих случаях различна. При незначительном загрязнении в силу высокой вариабельности всех показателей функционирования микроорганизмов их реакцию выявить трудно. При более высоких степенях загрязнения деградация проявляется четко в изменении структуры и функционирования микробного сообщества.

Выявлены и общие, и специфические черты ответной реакции почвенного микробоценоза на антропогенную деградацию почв. Во всех случаях отмечается снижение численности микроорганизмов, сокращение видового разнообразия, изменение видового состава. Микроорганизмы различаются по их толерантности к загрязняющим веществам. У почвенных грибов в загрязненных почвах

наблюдается задержка и снижение уровня прорастания спор. У многих из них замедляется рост колоний, накопление массы, снижается способность к размножению. Во всех случаях выбывают виды, менее чувствительные к загрязнению. Например, исчезают олигонитрофильные и аммонифицирующие бактерии, актиномицеты. Более устойчивы целлюлитические бактерии, пигментированные микроорганизмы. Среди последних часты резистентные виды микроорганизмов — токсинообразователи, которые отрицательно влияют на другие виды организмов, в том числе на растения.

Вследствие этих процессов в загрязненных почвах меняется структура комплекса. Показателем этого является индекс разнообразия Шенона. Об изменении структуры комплекса свидетельствует снижение индекса Шенона в 1,5–2 и более раз (табл. 7.1).

Таблица 7.1

**Изменение индекса разнообразия комплекса микроскопических грибов при загрязнении почв тяжелыми металлами (Марфенина, Мирчинк, 1988)**

| Вариант                | Промышленное загрязнение | Транспортное загрязнение |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Контроль               | 3,3                      | 2,6                      |
| Переходная зона        | 3,4                      | 2,7                      |
| Наибольшее загрязнение | 2,5                      | 2,0                      |

Наблюдается упрощение структуры микробоценоза. Сокращается присутствие редко выделяемых чувствительных видов (часто ими оказываются грибы), далее начинают выбывать виды — доминанты. Наблюдается повышение доминирования небольшого числа толерантных видов. Увеличивается содержание токсинообразующих, эпифитных и пигментированных видов. Возможно появление не типичных для данных почв форм. Отмечено такое явление, как сближение видового состава микроорганизмов в различных почвах, подверженных загрязнению одного рода. Это говорит о возможности глубокого нарушения исходного состояния почв и образования на их основе почв с нетипичными для данного ландшафта свойствами. Это опасное явление, так как такие изменения неизбежно вызовут изменение состояния растений и населяющих почвы животных. Не исключено впоследствии влияние этих

явлений и на человека (например, вследствие развития в почве источников заболевания человека).

При нарушении состояния почв происходит изменение показателей ферментативной активности почв. Ферменты (энзимы) — это продуцируемые микроорганизмами вещества, которые способны многократно (на порядки) ускорять химические реакции и обеспечивать большинство реакций обмена веществ. Они характеризуют потенциальную биологическую активность почв. Всего обнаруживают в настоящее время до 1000 ферментов. Все они встречаются в почве, но с диагностической целью используют 8—9 из них. Наиболее распространено определение гидролаз (инвертаза, фосфатаза, уреаза, протеаза и др.) и оксидоредуктаз (каталаза, дегирогеназа, полифенолоксидаза и др.).

Чаще всего отмечается снижение содержания присутствия микроорганизмов, участвующих в процессах азот-фиксации. Поэтому чутким показателем загрязнения почв являются ферменты процессов трансформации соединений азота в почве.

Наблюдаются специфические проявления влияния различных видов загрязняющих веществ на микробоценоз. Например, пестициды обладают избирательной токсичностью для микроорганизмов, влияют на ход разных биохимических реакций. Например, хлороорганические пестициды подавляют активность фосфатазы на 30—60%. Они наиболее активны в подавлении процессов нитрификации (до 70%). Многие из них подавляют интенсивность процессов разложения органических веществ, реакции цикла фосфора, серы. Особенно сильное влияние на процессы азотного цикла оказывает прометрин.

Металлы могут концентрироваться и на поверхности клеток микроорганизмов, и внутри их клеток. Микроорганизмы способны как переводить неорганические соединения металлов в органические, так и, напротив, органические в минеральные. Перерабатывая в почве органоминеральные соединения загрязняющих почву металлов, они способны переводить их в более подвижные соединения, что может являться причиной их вторичной мобилизации. Например, продуктом микробиологической трансформации соединений ртути и мышьяка в почвах могут быть более токсичные, чем исходные их соединений (метилированные соединения ртути и мышьяка). Возможно образование и газообразных соединений ртути и мышьяка. С другой стороны, микро-

биологические процессы меняют состояние тех почвенных компонентов (гумусовые вещества, несиликатные соединения железа и алюминия), которые ответственны за удерживание металлов.

Загрязнение почв тяжелыми металлами нарушает важнейшие свойства почв: их дыхание, аммонификацию, нитрификацию. Под влиянием металлов снижается способность почв фиксировать азот (табл. 7.2).

Таблица 7.2

**Азотфиксирующая активность серозема обыкновенного при разной степени загрязнения свинцом (Левин, Гузев, Асеева, 1989)**

| Превышение над фоновым содержанием металлов в почве | Азотфиксация N <sub>2</sub> /кг/ч |
|---|-----------------------------------|
| 1   | 732±343                           |
| 1,5–2   | 227+68                            |
| 2–5   | 1236+1025                         |
| 10–50   | 51+17                             |
| 50–200  | 1,1+0,1                           |

По-разному протекают эти процессы в разных почвах. Устойчивость микробоценоза чернозема к загрязнению кадмием выше, чем серозема (табл. 7.3).

Таблица 7.3

**Влияние доз кадмия на активность азотфиксации в черноземе и сероземе (Умаров, Азиева, 1980)**

| Дозы Cd (мг/кг) | Азотфиксирующая активность мгN/кг почвы/час |         |
|-----------------|---|---------|
|                 | чернозем                                    | серозем |
| 0,1             | 320   | 223     |
| 1,0             | 247   | 40      |
| 10,0            | 260   | 36      |

В загрязненных металлами почвах снижается активность ферментов (табл. 7.4).

Кислые дожди действуют на все звенья биогеоценоза. При их регулярном выпадении страдает наземная растительность, меняется количество и состав органических веществ мортмассы и условия ее переработки. Под влия-

Таблица 7.4

Изменение активности каталазы в дерново-подзолистой почве через 24 ч после инкубации в зависимости от концентрации свинца, внесенного в форме  $Pb(NO_3)_2$   
(Левин, Гузев, Асеева, 1989)

| Вариант опыта | Концентрация $O_2$ , мл/г почвы/мин |
|---------------|-------------------------------------|
| К (контроль)  | 4,3                                 |
| 10К           | 2,8                                 |
| 50К           | 1,5                                 |
| 100 К         | 1,2                                 |

нием избыточных количеств протона и анионов снижается скорость минерализации органических остатков почвенным микробоценозом.

Специфические условия для микробоценоза создаются в почвах, загрязненных нефтью. Летучие углеводороды нефти (толуол, бензол, ксилол) оказывают прямое токсическое действие на почвенные микроорганизмы, но эффект их относительно краткосрочен. Более устойчивые фракции нефти поставляют дополнительное питание для микроорганизмов, способных окислять эти вещества. Это создает стимулирующие условия для таких организмов, они активны в росте и в биохимических процессах трансформации органических веществ. На этом основаны методы очистки почв, загрязненных нефтью. Но при этом ослабляется ферментативная активность многих других видов микроорганизмов, так как тяжелые фракции нефти заполняют поры почвы, что ухудшает физические свойства почв, их водно-воздушный режим. Многие микроорганизмы страдают также от токсичного действия избытка солей в нефтезагрязненных почвах, так как соленые пластовые воды сопутствуют нефти.

Состояние микроорганизмов в нарушенных почвах может служить индикатором степени загрязнения почв. Но и сами микроорганизмы могут включать эти вещества в циклы их трансформации, что особенно важно для ксенобиотиков, т. е. веществ, несвойственных природе (пестициды, детергенты).

Так как микроорганизмы способны к относительно быстрой адаптации, то до тех пор, пока загрязненная почва будет оставаться почвой, ее микробиота будет перерабатывать и трансформировать соединения загрязняющих

веществ, приближая состояние почв к естественному. В разных почвах эффект деградации микробиологических процессов различен. Величина зоны гомеостаза почвенной микробной биомассы может служить мерой ее устойчивости к конкретному виду антропогенной деградации почв. Например, в черноземной почве величина зоны гомеостаза на порядок выше, чем в дерново-подзолистой почве. Микробиологическое состояние почв является индикатором, с одной стороны, нарушений, произошедших в загрязненных почвах, с другой стороны, показателем способности почв к реабилитации.

Перечень показателей антропогенных нарушений микробиологического состояния почв включает массу микроорганизмов, их численность, видовое разнообразие, структуру сообщества, показатели его функционирования, величину зоны гомеостаза микробиоценоза. Численность микроорганизмов — трудный диагностический показатель, так как он меняется по сезонам, зависит от обеспеченности организмов питанием. Микробную активность определяют по разным показателям, часть из которых названа выше. Часто характеризуют ее по количеству выделенного или поглощенного  $\text{CO}_2$ . Имеет широкое распространение метод определения активности инициированного микробного сообщества, которое развивается в исследуемых почвах при внесении специфических веществ. Все они способны характеризовать экологическое состояние почвы, ее «здоровье».



## ГЛАВА 8

# КОМПЛЕКСНЫЕ ВИДЫ ДЕГРАДАЦИИ ЭКОСИСТЕМЫ

### 8.1. Опустынивание

Опустынивание — деградация экосистемы в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах, обусловленная совместным влиянием климата и деятельности человека.

Засушливые территории составляют около одной трети суши земного шара (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Площадь засушливых территорий мира (млн га)

| Регионы      | 1956 (по оценке П. Мейгса) | 1977 (по карте ЮНЕСКО) |
|--------------|----------------------------|------------------------|
| Супераридные | 581                        | 900                    |
| Аридные      | 2174                       | 2680                   |
| Семиаридные  | 2126                       | 1750                   |
| Всего        | 4881                       | 5250                   |

Приведенные в таблице регионы засушливых земель согласно классификации ЮНЕСКО (1977) определяются следующими количественными показателями:

- 1) супераридные территории — годовые осадки менее 100 мм, отсутствует растительность за исключением эфемеров и кустарников по руслам водотоков; земледелие и животноводство невозможны, за исключением оазисов. Это настоящие пустыни с индексом аридности 0,03;
- 2) аридные территории — годовые осадки 100–200 мм, скудная, разреженная и однолетняя растительность; земледелие возможно при орошении, а скотоводство лишь кочевое; индекс аридности 0,03–0,2;

3) семиаридные территории — годовые осадки 200—400 мм; полупустынная и кустарниковая растительность с прерывистым покровом; возможно неустойчивое богарное земледелие и развитое пастбищное животноводство; индекс аридности 0,2—0,5.

Супераридные территории — это уже настоящие пустыни. Процесс современного антропогенного опустынивания интенсивно прогрессирует в аридных и семиаридных регионах. Если естественные для этой природной зоны засуха и суховеи — это уже серьезное бедствие для почв, и без того бедных питательными веществами, то антропогенная нагрузка оказывается зачастую для них губительной. Опустынивание в аридной зоне проявляется многогранно: как усиление ветровой и водной эрозии почв, утрата почвами верхних горизонтов, снижение стабильности почвенной структуры, сопровождающееся образованием корок на поверхности, усиление поверхностного стока, снижение фильтрации и водоудерживания, как замена лесов и древесной растительности вторичной саванной и кустарниками, рост нестабильности объема и скорости потока местных рек и ручьев, рост минерализации изначально пресных вод в озерах, реках и болотах, засоление почв, как общее снижение видового разнообразия и биомассы растительных сообществ. Главными формами деградации почв при опустынивании являются ветровая эрозия (пастбища и богарные сельскохозяйственные территории), ирригационная эрозия, засоление земель.

Антропогенная деятельность, способствующая опустыниванию: экстенсивное земледелие, перевыпас скота, сведение лесов, нерациональное ведение хозяйства на поливных землях.

Ежегодно 21 млн га земель вследствие опустынивания теряют свою продуктивность до полной экономической нецелесообразности их использования (табл. 8.2).

Критерии оценки деградации земель при опустынивании включают важнейшие показатели состояния почв и растительности (табл. 8.3).

Опустынивание — это снижение или разрушение биологического потенциала земли, которое в конечном итоге может привести к условиям пустыни. Связано оно с нерациональным использованием человеком природных ресурсов аридных и семиаридных территорий.

Таблица 8.2

**Масштабы опустынивания земель различных видов  
использования в разных регионах планеты  
(UNEP, 1992; по Dregne, 1991)**

| Регион     | Засушливые пастбища    |                          | Неполивные пахотные земли |                          | Поливные земли         |                          |
|------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
|            | Общая площадь, тыс. га | Дегradированные земли, % | Общая площадь, тыс. га    | Дегradированные земли, % | Общая площадь, тыс. га | Дегradированные земли, % |
| Африка     | 1 342 345              | 74                       | 79 822                    | 61                       | 10 424                 | 18                       |
| Азия       | 1 571 240              | 76                       | 218 174                   | 56                       | 92 021                 | 35                       |
| Австралия  | 657 233                | 55                       | 42 120                    | 34                       | 1870                   | 13                       |
| Европа     | 111 570                | 72                       | 22 106                    | 54                       | 11 898                 | 16                       |
| С. Америка | 483 141                | 85                       | 74 169                    | 16                       | 20 867                 | 28                       |
| Ю. Америка | 390 901                | 76                       | 21 346                    | 31                       | 8415                   | 17                       |
| ВСЕГО      | 4 556 420              | 73                       | 457 737                   | 47                       | 14 495                 | 30                       |

Таблица 8.3

**Критерии оценки деградации земель  
(Харин, Татеиши, Харахшех, 1999)**

| Критерии современного состояния         | Классы опустынивания            |                          |                         |
|---|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|   | Слабое                          | Умеренное                | Сильное и очень сильное |
| <b>Деградация растительного покрова</b> |                                 |                          |                         |
| 1. Растительное сообщество              | Климаксное или слабо измененное | Длительное произрастание | Эфимерное               |
| 2. Климаксовых видов, %                 | >75                             | 75 – 25                  | <25                     |
| 3. Сокращение проективного покрытия, %  | <25                             | 25 – 75                  | >75                     |
| 4. Потери кормов на пастбищах, %        | <25                             | 25 – 75                  | >75                     |

Продолжение табл. 8.3

|   |                                     |  |  |
|---|-------------------------------------|--|--|
| 5. Сокращение прироста древесины в лесу, %    | <25                                 | 25 – 75  | >75  |
| <b>Ветровая эрозия</b>                        |                                     |  |  |
| <b>Необрабатываемые земли</b>                 |                                     |  |  |
| 1. Площадь, покрытая подвижными лесами, %     | <30                                 | 30 – 70  | >70  |
| 2. Площадь, покрытая дерниной, %              | 50 – 30                             | 30 – 10  | <10  |
| <b>Обрабатываемые земли</b>                   |                                     |  |  |
| 1. Выдувание верхнего почвенного горизонта, % | <25                                 | 25 – 50  | >50  |
| 2. Площади, занятые котловинами выдувания, %  | <5                                  | 5 – 10   | >10  |
| 3. Потеря урожая ведущей культуры, %          | <25                                 | 25 – 50  | >50  |
| <b>Водная эрозия</b>                          |                                     |  |  |
| <b>Необрабатываемые земли</b>                 |                                     |  |  |
| 1. Тип эрозии                                 | Плоскостной смыв, эрозийные борозды | Плоскостной смыв, эрозийные борозды, образование оврагов | Плоскостной смыв, эрозийные борозды, овражная сеть |
| 2. Смыв поверхностного горизонта, %           | <25                                 | 25 – 50  | >50  |
| <b>Обрабатываемые земли</b>                   |                                     |  |  |
| 1. Смыв поверхностного горизонта, %           | <25                                 | 25 – 50  | >50  |
| 2. Потеря урожая ведущей культуры, %          | <25                                 | 25 – 50  | 25 – 50  |
| <b>Засоление орошаемых земель</b>             |                                     |  |  |
| 1. Степень засоления по плотному остатку, %   | 0,20 – 0,40                         | 0,40 – 0,60  | >0,60  |

Окончание табл. 8.3

|                                       |         |         |       |
|---------------------------------------|---------|---------|-------|
| 2. Минерализация грунтовых вод, %     | 3–6     | 6–10    | 10–30 |
| 3. Минерализация оросительных вод, %  | 0,5–1,0 | 1,0–1,5 | >1,5  |
| 4. Сезонное накопление солей, т/га    | 16–30   | 30–45   | 45–90 |
| 5. Потеря урожая основной культуры, % | <15     | 15–40   | >40   |

Опустынивание прогрессирует, процесс опустынивания затрагивает все континенты мира, а в наиболее разрушительной степени — засушливые территории Южной Америки, Азии и Африки, где около 20 % продуктивных земель подверглись серьезному опустыниванию. Особенно сильно от опустынивания страдает Судано-Сахельская зона Африки и страны к югу от нее, где этот процесс непосредственно угрожает благополучию 80–85 % населения. После «пустынного удара» конца 60-х — начала 70-х годов, который произошел вследствие нерационального использования природных ресурсов, Африка так и не смогла оправиться, хотя с тех пор здесь несколько раз засушливые климатические периоды сменялись более влажными. Экологическая, а за ней и социально-экономическая обстановка в аридных регионах континента продолжают ухудшаться.

Влияют на усиление опустынивания как природные факторы, такие как периодически повторяющиеся засухи и частые суховеи, малое количество осадков, так и существующие технологические системы, в том числе необоснованное увеличение площадей пашни, несовершенство оросительной и дренажной системы без учета природных особенностей аридных зон. Для снижения скорости роста деградационных процессов нужны оптимальный полив, дренажная сеть, облицовка каналов и другие меры.

В настоящее время опустынивание получило широкое развитие в районах Приаралья, Прибалхашья, Прикаспия, на равнинах Туркменистана, Узбекистана, Казахстана, Дагестана, Азербайджана. Здесь антропогенным опустыниванием в разных формах и в разной степени затронуты огромные территории. Причины опустынивания: перевыпас скота на пастбищах, неоправданная распашка почв и их последующая

эрозия, неоправданное орошение и вторичное засоление и осолонцевание почв, истощение и засоление линз местных вод, вырубка ветрозащитной растительности, разрушающее действие тяжелой техники, промышленное загрязнение воздуха, почв, вод. Потребление природных ресурсов без заботы об их воспроизводстве, нерациональное использование природных ресурсов, которое превышает порог экологической устойчивости природных экосистем, за которым следует их разрушение, чаще всего является необратимым.

В Российской Федерации опустынивание охватывает около 1 – 1,2 млн кв. км, что составляет около 7 % от общей площади земель. Наиболее вредны эрозия и дефляция. Примерно каждый четвертый гектар сельскохозяйственных угодий эродирован в разной степени. Годовой прирост площади смытых почв только в черноземной зоне РФ составляет 0,3 – 0,5 %, а в некоторых районах достигает 1 %. Почвы разрушаются оврагами, площадь которых составляет около 2,4 млн га и ежегодно увеличивается на 0,1 – 0,2 млн га.

Опустынивание подрывает продовольственную безопасность страны: на 7 – 8 % территории России, подверженных опустыниванию, производится более 70 % сельскохозяйственной продукции страны. Недобор урожая только растениеводства составляет 20 – 30 %.

Есть и еще одна широко распространенная причина развития процесса опустынивания. В Калмыкии, например, сейчас орошается около 100 тыс. га земель. Никто не знает, сколько здесь еще имеется так называемого инициативного орошения, основанного не на государственных оросительных системах, а на водоподаче из любых источников насосами разного типа. Практически все 100 % орошаемых земель засолены в той или иной степени, а ведь это не только и не столько потери урожая, сколько потенциал роста солончаковой пустыни, потеря продуктивности земель.

Установлено, что неумеренный, нерегулируемый забор воды в верховьях рек в засушливых регионах ведет к деградации земель и их опустыниванию в низовьях. Именно это явление наблюдается сейчас в Приарале. Общий годовой запас воды в бассейне Аральского моря в среднем составляет 126,7 км<sup>3</sup>. В 1986 году для орошения использовалось 108 км<sup>3</sup>. А ведь еще есть расход воды на коммунальные и иные нужды. При этом в реки сбрасываются соленые дренажно-коллекторные воды. В результате за последние 25 лет уровень воды в море снизился на 13 метров, соле-

ность воды выросла с 9 до 26 г/л, акватория уменьшилась на 30—35 %, наполовину уменьшился объем воды. Южная береговая линия отступила на 60—80 км. На высохшем морском дне формируется песчано-солончаковая пустыня, площадь которой к 1993 году достигала 2,6 млн га.

Обсыхающая территория вокруг Арала стала крупным источником солепылевого материала, выдуваемого и переносимого ветром на многие сотни километров. Соли губят растительность и засоляют почвы. Вследствие изменения отражающей способности почв (альбедо увеличилось более чем в 7 раз) увеличилась континентальность климата региона. Климатические изменения в сторону аридизации охватывают еще более крупный регион: до 50 млн га. Отсюда переход полупустынных пастбищ в пустынные.

В Астраханской области чрезмерная нагрузка скота привела к развитию дефляции на площади 1,3 млн га, из которых не менее  $\frac{1}{4}$  земель перешли в развеваемые пески (по данным на 1994 г.). Северная граница опустынивания постоянно поднимается к северу. Опустынивание стало проблемой для Алтайского, Краснодарского, Ставропольского краев, Ростовской, Волгоградской, Воронежской, Омской, Челябинской, Читинской, Саратовской, Оренбургской, Новосибирской областей. Проявляется в Тыве, Забайкалье, Бурятии, Дагестане.

Понятие опустынивания расширяется. Термин начинают применять для оценки состояния ландшафта не только аридных природных зон, но и для характеристики глубокой антропогенной деградации природных ландшафтов любых природных зон. Например, деградацию оленьих пастбищ называют северным вариантом опустынивания. Деградацией затронуто почти 70 % площади пастбищ. Деградация идет из-за перегрузки пастбищ скотом, нарушения почвенного покрова при бездорожном проезде автотранспорта, освоения полезных ископаемых, проведения геолого-разведочных работ. Техногенными пустынями называют ландшафты предельной степени деградации на наиболее сильно загрязненной техногенно нарушенной территории, ближайшей к источнику загрязнения (например, аэрозольными выбросами предприятий цветной металлургии).

Глобальная опасность опустынивания — в необратимости изменения в сторону аридизации почвенного покрова и экосистемы в целом, т. е. в уменьшении способности гео-

системы обеспечивать растительность и другие организмы продуктивным запасом воды.

Антропогенное опустынивание территорий мира в настоящее время является одной из наиболее опасных и тяжелых по своим последствиям глобальных экологических проблем, угрожая ресурсной базе развития современного и грядущих поколений. Стал очевидным рост интенсивности процесса, превращение локального процесса в региональный, в глобальный процесс.

## 8.2. Деградация почв пастбищ

Нерегулируемый выпас приводит к смене растительного покрова и, как следствие, к деградации почв. Явление это именуют пастбищной дигрессией. Развитие дигрессии зависит от видовых особенностей выпасаемых животных, интенсивности и длительности использования пастбищ, выносливости пастбищной растительности к вытаптыванию. Так, овсяница красная и клевер ползучий характеризуются исключительной выносливостью к вытаптыванию. Различают следующие этапы пастбищной дигрессии.

1—2. Влияние выпаса отсутствует или очень слабое. Стадия — исходный сенокос. Характерен высокий травостой, в котором верховые злаки сенокосного типа господствуют наряду с крупным и широколиственным разнотравьем. Это луга, на которых выпас и сенокосение повлияли слабо.

3—4. Слабое влияние выпаса, сенокосная стадия. Выпас и раннее сенокосение угнетают разнотравье, что дает возможность развиваться злакам: овсянице луговой, тимофеевке, кострецу безостому, лисохвосту луговому.

5. Умеренное влияние выпаса, полупастбищная стадия. Коренное разнотравье практически выпадает, появляются пастбищные сорняки. Верховые сенокосные злаки уступают низовым злакам.

6—7. Сильное влияние выпаса, пастбищная стадия. Господствуют низовые пастбищные злаки (мятлик луговой, овсяница красная, полевица белая) и стелющиеся бобовые (клевер ползучий, пустягодник). Разрастаются многолетние сорняки — одуванчик, кульбаба, лапчатка гусиная, лютики.

8. Полусбой. Травостой редет. Верховые злаки встречаются редко, многолетние сорные растения начинают вытеснять пастбищные злаки. Появляются сорные однолетники —



спорыш (гречишка птичья), мятлик однолетний, пастушья сумка. Нередко разрастаются татарник, чертополох.

9. Сбой. Травостой сильно изрежен, растут преимущественно спорыш и другие однолетники.

10. Абсолютный сбой. Почва оголена, встречаются единичные растения.

Под влиянием выпаса существенно изменяются свойства почв, прежде всего их физические свойства. Непременное следствие перевыпаса — уплотнение почвы, происходящее под влиянием копыт животных. Иногда уплотнение сопровождается сдвигом почвенной массы, особенно весной в период переувлажнения почвы. Значительная величина давления копыт передается на глубину до 8–12 см, глубже она ослабевает и на глубине 20 см составляет уже только 10–20 % от исходной. Уплотнение почвы связано с уменьшением пористости, прежде всего межагрегатной, и ухудшением водно-воздушного режима. Существенно деградирует структура почвы, при этом не только увеличивается глыбистость почвы, но резко уменьшается водопрочность агрегатов. В меньшей степени проявляются отмеченные явления в высокогумусных почвах.

Изменение физических свойств почв сопровождается ухудшением химических свойств. Наиболее существенное изменение в результате перевыпаса — дегумификация почв. Связано это с тем, что перевыпас существенно меняет биологический круговорот в экосистеме, значительная доля надземной фитомассы поедается животными и не поступает в сферу гумификации. И хотя часть органического вещества поступает с экскрементами животных, но компенсации не происходит, к тому же экскременты распределяются по территории пастбища неравномерно. Вторая причина дегумификации — эрозия почв.

Выпас приводит к обеднению почвы питательными элементами. На уплотнение почвы существенное влияние оказывает дернина. В случае хорошей выраженности она препятствует деформации почвы, и плотность меняется не столь сильно.

Пастбищная дигрессия имеет место как в горных районах, так и на равнине. Сельскохозяйственное освоение горных территорий охватывает все высотные пояса за исключением субнивального и нивального.

Наиболее активна пастбищная дигрессия на Черных Землях Калмыкии и Кизлярских пастбищах Дагестана.

Калмыкия в 1992 году была объявлена зоной экологического бедствия. В Калмыкии на опытном полигоне площадью 72 500 га в Сарпинском районе площадь пастбищ за 10 лет сократилась почти на 15 %. Причина — опустынивание. Пустыня выросла более чем на 12 тыс. га, а так как соответствующего уменьшения поголовья скота не было проведено, то на оставшихся пастбищах процесс опустынивания еще более интенсифицировался. На другом опытном полигоне в пределах Ергеней за те же 10 лет было распаханно почти 3 тыс. га лучших пастбищ, а 3,5 тыс. га истощенной пашни были заброшены. При этом произошло уменьшение пастбищ почти на 3 тыс. га, пашни — на 600 га и рост пустыни на 3,5 тыс. га. В целом на территории Черноземельского и Яшкульского районов Калмыкии, как показала проведенная в 1983 году съемка из космоса, более 500 тыс. га прибавилось разбитых голых песков. Они стали занимать 30 % от площади пастбищ, т. е. на порядок больше — ранее песков было всего 2–3 %. К 1989 году их стало уже более 800 тыс. га, и площадь их продолжает расти. В настоящее время опасность опустынивания и деградации пастбищ в Калмыкии наибольшая по России. Главная причина — избыток скота на бедных аридных пастбищах. Так, например, в Яшкульском районе выборочная проверка показала, что число неучтенных овец в отарах иногда превышало число «законных» в 20 раз. Такой перегрузки, естественно, не может выдержать ни одно пастбище.

### 8.3. Деградация почв на орошаемых территориях

Площадь орошаемых земель мира, по данным ФАО, в 1986 году достигла 228 млн га и продолжает расти, из них более половины подвержены вторичному засолению. Ежегодно около 1 млн га орошаемых земель выпадает из оборота по причине сильного вторичного засоления, эта потеря постоянно компенсируется освоением новых земель под орошение.

В общей сложности с 1700 по 1986 год в результате вторичного засоления было заброшено или трансформировано в «иные» земли, а фактически превращено в солевые пустыни 50 млн га. Еще около 50 млн га были потеряны в результате подтопления и засоления неорошаемых земель вдоль каналов и водохранилищ, опустынивания низовий

рек, засоления в местах сброса дренажных вод, затопления сбросными водами.

Антропогенные изменения орошаемых почв и их негативные экологические последствия состоят в следующем: 1) потеря земельных ресурсов и превращение продуктивных земель в непродуктивные соленые марши или солевую пустыню вследствие подтопления и вторичного засоления на больших территориях (1–2 млн га в год); 2) снижение продуктивности земель за счет вторичного засоления, осолонцевания, слитизации (около 40 млн га); 3) образование соленых водоемов в местах сброса коллекторно-дренажных вод; 4) резкое ухудшение качества воды в реках вследствие сброса в них коллекторно-дренажных вод; 5) засоление и деградация ландшафтов в низовьях рек по причине большого водозабора в верховьях; 6) загрязнение поверхностных и подземных вод действующими веществами минеральных удобрений (включая азотные и фосфорные соединения); 7) загрязнение поверхностных и подземных вод избытком солей, пестицидами и другими ядохимикатами; 8) обострение водоснабжения, особенно питьевого, на больших территориях; 9) загрязнение токсикантами местообитаний дикой фауны, особенно перелетных водоплавающих птиц, ведущее к исчезновению видов; 10) распространение болезней среди населения, обитающего непосредственно среди орошаемых территорий и в местах сброса коллекторно-дренажных вод, особенно в местах усиленного применения азотных удобрений на орошаемых полях; 11) загрязнение избытком нитратов сельскохозяйственной продукции по причине усиленного применения азотных удобрений на орошаемых полях; 12) необратимые гидрологические и гидрогеологические изменения, в частности, исчерпание водных ресурсов, местами сопровождающееся просадками почвы; 13) нарастание стрессовых явлений в окружающей среде, ведущее к социально-экономическим и политическим стрессам.

Особое внимание почвоведов привлекают проблемы орошения черноземов, причем наибольшее опасение вызывают процессы, протекающие в орошаемых черноземах Ростовской области, юга Украины и Молдавии, юга Западной Сибири. Связано это с генетической предрасположенностью этих почв к возникновению и развитию в них при орошении ряда неблагоприятных изменений. Низкая устойчивость илистой фракции этих почв к пептизации (в связи с высокой долей минералов группы монтморилло-

нита), предопределяет формирование гумусовых веществ в орошаемых черноземах по типу либо выщелоченных, либо солонцеватых почв, что приводит к уменьшению содержания гумуса и увеличению его подвижности.

На оросительных системах Ростовской области имеются значительные площади земель, которые находятся в условиях близкого залегания грунтовых вод (менее двух метров). Большая часть их имеет минерализацию критическую — более 3 г/л. В итоге на оросительных системах, эксплуатируемых менее 20 лет, зафиксировано вторичное засоление почв и сезонное соленакопление при поливе минерализованными водами из Веселовского водохранилища. На части орошаемых земель обнаружен рост солонцеватости почв при поливе как минерализованными, так и пресными донскими водами. Установлено, что в солевом составе почв заметно увеличивается содержание ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , сопровождающееся увеличением катионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в составе поглощенных оснований. В условиях промывного режима, складывающегося в течение поливного сезона под временными оросителями, проявляется слабое изменение общего количества легкорастворимых солей, но существенно нарушение их качественного состава. В почве вдвое снижается содержание ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , а содержание ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$  возрастает. В составе поглощенных катионов почти в 3 раза увеличивается суммарное количество  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Na}^+$ .

Отмечено наличие в орошаемых почвах на глубине 80–160 см выраженной солевой зоны с содержанием водорастворимых солей 0,13–0,17 %. В неорошаемой почве во всей двухметровой толще соли распределены равномерно и содержание их не превышает 0,06 %.

Положение усугубляется при орошении почв минерализованными водами Таганрогского залива (минерализация 3,6–5,5 г/л), при этом происходит уплотнение пахотного слоя, повышается максимальная гигроскопичность и влажность устойчивого завядания, уменьшаются общие запасы карбонатов. Орошение вызывает засоление почв, накопление солей в метровой толще достигает 0,17–0,28 % против 0,07–0,09 % в неорошаемой. Состав водных вытяжек при этом из гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевого изменяется на хлоридно-натриевый. Изменяется и состав поглощенных оснований: содержание натрия в верхнем слое соответствует средней степени солонцеватости.

Орошение оказывает влияние и на физические свойства почв. В черноземах Ростовской области орошение в течение 10–15 лет вызывает сильное ухудшение их физических свойств и водно-воздушного режима: растет плотность почвы и ее твердой фазы, снижается общая порозность, порозность аэрации падает вдвое. Все это приводит к дефициту кислорода в почве и перегрузке ее углекислотой. Регулярное повышение содержания углекислоты усиливает процессы гидролиза полевых шпатов, способствует образованию бикарбонатов кальция, магния, натрия, что увеличивает щелочность среды, способствует появлению гидрофильных аморфных вторичных соединений. Таким образом, в предкавказских и южных черноземах Ростовской области 25–30-летнее орошение ведет к развитию в них таких процессов, как ощелачивание, осолонцевание, обесструктуривание, явления элювиально-иллювиального характера.

Аналогичное положение отмечается и для ряда других территорий районов орошения. Опыт орошения на Украине, в Молдавии, на Северном Кавказе, на Дону и особенно в Поволжье показывает повсеместное ухудшение физических свойств черноземов и их засоление.

## **ГЛАВА 9**

# **ПОЧВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ: ПОНЯТИЯ, ПОКАЗАТЕЛИ, ВИДЫ, ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ**

### **9.1. Понятия о почвенном экологическом мониторинге и его программе**

**Почвенный экологический мониторинг** — система регулярного не ограниченного в пространстве и времени контроля почв, который дает информацию об их состоянии с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза его изменения в будущем. Это определение непосредственно вытекает из общего определения понятия экологического мониторинга. Почвенный мониторинг — одна из важнейших составляющих экологического мониторинга в целом, он направлен на выявление антропогенных изменений почв, которые могут в конечном итоге нанести вред здоровью человека. Особая роль почвенного мониторинга обусловлена тем, что все изменения состава и свойств почв отражаются на выполнении почвами их экологических функций, следовательно, на состоянии биосферы.

Предметом контроля почв являются прежде всего их изменения, вызванные деятельностью человека. Но многие неблагоприятные изменения свойств почвы могут формироваться естественным путем под влиянием природных факторов почвообразования, под влиянием катастрофических явлений в природе. Например, образование засоленных почв может быть следствием импัลверизации солей или привноса их с грунтовыми водами. Потери почвенного гумуса могут быть следствием не только распашки или интенсификации земледелия, но и естественной смены биоклиматических условий. Это говорит о сложности вычленения антропогенных последствий изменения контролируемых при мониторинге свойств почв. Имеет значение и то, что

в почве в отличие от воздуха атмосферы и вод поверхностных водоемов экологические последствия антропогенного воздействия (например, загрязнения) обычно проявляются позже, но они более устойчивы и сохраняются дольше. Существует необходимость оценивать и долговременные последствия этого воздействия, например, возможность мобилизации загрязняющих веществ в почвах, вследствие чего почва из «депо» загрязняющих веществ может превращаться в их вторичный источник.

Программа мониторинга почв должна содержать перечень определяемых показателей, требования к выбору точек опробования и методов определения показателей, основания для оценки полученных уровней показателей («нормальные уровни показателей») и прогноза их изменения.

## **9.2. Показатели почвенного экологического мониторинга**

Почвенные показатели, отражающие их экологическое состояние, т. е. взаимосвязь с сопредельными средами и влияние на живые организмы, называют индикаторами мониторинга. Они информативны также при оценке устойчивости экосистемы в отношении того или иного вида деградации.

Общие требования к индикаторам почвенного экологического мониторинга следующие:

- информативность в отражении состояния почв как компонента экосистемы;
- чувствительность к смене экологической обстановки;
- доступность методов аналитического определения;
- правильность и воспроизводимость результатов их аналитического определения, обеспечивающие сопоставимость данных.

Выбор почвенных показателей состояния почв зависит прежде всего от вида деградации почв. Имеет значение и природа изменчивости контролируемых свойств почв. При любых видах деградации почвенный мониторинг предлагает определение трех групп показателей:

- 1) показатели ранней диагностики появления неблагоприятных свойств и почвенных режимов;
- 2) показатели, характеризующие сезонные или краткосрочные (2—5 лет) изменения свойств почв. Эта группа

показателей рекомендуется для оценки текущего состояния почвы, для прогноза урожайности и в связи с необходимостью корректировок для срочного повышения урожая текущего года (проведением поливов, внесением удобрений и т. д.);

- 3) показатели долгосрочных изменений, проявляющихся в течение 5—10 и более лет, отражающие неблагоприятные тенденции антропогенного изменения свойств почв.

Для мониторинга почв, подверженных разным видам деградации, разработаны конкретные показатели, отражающие изменения почв, вызванные каждым из видов деградации. Эти показатели описаны далее в соответствующих разделах.

### 9.3. Виды почвенного экологического мониторинга

Выделение видов почвенного экологического мониторинга основано на различиях в сочетании информативных почвенных показателей, соответствующих задачам каждого из них. На основе различий механизмов и масштабов проявления деградации почв выделяется две группы видов мониторинга, одну из которых представляют глобальный мониторинг, другую — локальный и региональный мониторинг почв. Глобальный почвенный мониторинг — составная часть глобального мониторинга биосферы, он призван для оценки отражения в состоянии почв экологических последствий дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ в связи с опасностью общепланетарного загрязнения биосферы и сопровождающих его процессов глобального уровня (потепление климата). Назначение локального и регионального мониторинга — выявление влияния деградации почв на экосистемы локального и регионального уровней и непосредственно на условия жизни человека в сфере его природопользования. Показатели локального и регионального мониторинга почв не единообразны. Специфические виды локального и регионального почвенного мониторинга отличаются тем, что они направлены на выявление последствий деградации прежде всего химических свойств почв, с которыми связано прямое действие почв на живые организмы (недостаток питания для растений, токсическое действие загрязняющих веществ на живые организмы и передача его по пищевой цепочке). Существенных изменений физических свойств почв, их морфологии при этом может



и не наблюдаться (или наблюдаться в крайних степенях их проявления, например, в техногенной пустыне сильно загрязненных и деградированных почв).

**Комплексные** виды локального и регионального почвенного мониторинга направлены на выявление экологических последствий **комплексной деградации** почв, в основе которой лежат либо процессы деградации физических свойств почв, которые неизбежно сопровождаются деградацией их химических свойств (опустынивание, выбивание почв), либо начинаются с деградации химических свойств, которая влечет за собой изменения физических свойств (деградация орошаемых почв), что может отражаться и на их морфологических свойствах, на классификационном положении почв.

Универсальные виды локального и регионального почвенного мониторинга позволяют получить интегральную оценку деградации почв, в основе которой лежит либо состояние почвенного микробоценоза, либо производственная оценка качества почв, либо ее «внешний вид сверху», характеризующий большие территории.

Итак, группировка видов почвенного экологического мониторинга выглядит следующим образом:

1. Виды локального и регионального почвенного экологического мониторинга:
  - 1.1. Виды специфического мониторинга почв: а) мониторинг почв, подверженных загрязнению, б) мониторинг агрохимический.
  - 1.2. Виды комплексного мониторинга почв: а) мониторинг опустынивания, б) мониторинг пастбищ, в) ирригационно-мелиоративный.
  - 1.3. Виды универсального мониторинга почв: а) контроль микробиологического состояния почв, б) контроль качества почв (бонитировка), в) дистанционный мониторинг почв.
2. Глобальный почвенный экологический мониторинг.

Многие положения почвенного экологического мониторинга разработаны специально для контроля загрязнения почв и не находят практического применения при контроле выполнения почвами других функций.

#### **9.4. Объекты почвенного экологического мониторинга**

Объекты наблюдения при проведении почвенного экологического мониторинга должны обеспечить выявление

различных видов и уровней неблагоприятных изменений состояния почв, вызванных проживанием людей на земле и всеми видами их хозяйственной деятельности при обязательном учете специфических природных условий, влияющих на последствия антропогенного воздействия.

Объекты наблюдения почвенного экологического мониторинга должны обеспечить возможность оценки изменения состояния антропогенно нарушенных почв в пространстве и времени.

Выбору пробных площадей и точек опробывания должен предшествовать анализ всех антропогенных факторов, способных влиять на состояние почв и экосистемы в целом. Он позволит конкретно выявить специфический характер воздействия этих факторов на почвы и конкретные среды (уплотнение почв тяжелой техникой, интенсивная эксплуатация почв и утрата почвами элементов питания, загрязнение почв, вод, атмосферы твердыми, жидкими, газообразными отходами и прочее). Такой анализ позволит определить вид планируемого экологического мониторинга, с чем сопряжен перечень показателей состояния почв, определение которых целесообразно для данного вида мониторинга. Тесно взаимосвязаны вид антропогенного воздействия, контролируемые показатели состояния почв, вид почвенного мониторинга и выбор пробных площадей, почвы которых отражают нарушения в экосистеме и их последствия.

Во всех случаях антропогенного воздействия на экосистему нарушения, вызванные ими, зависят от удаленности от источника воздействия. Часто еще при рекогносцировочном обследовании выявляются зоны интенсивной деградации почв и зоны распространения частично нарушенных почв (почвы буферной зоны). И те и другие должны быть включены в перечень объектов наблюдения. В подавляющем большинстве площади почв буферной зоны значительно превышают площади интенсивно деградированных земель (называемых часто техногенными пустынями), и оценка их состояния при мониторинге необходима.

Перечень пробных площадей при мониторинге почв должен обязательно включать природные аналоги техногенно измененных ландшафтов или ландшафты в минимальной степени измененные антропогенными факторами. Их анализ должен позволить обнаружить все природные факторы, обеспечивающие исходное состояние исследуе-

мых почв, влияние на них рельефа, растительности, почвообразующих пород, климатических условий. Эти факторы влияют и на перераспределение техногенных веществ в конкретных условиях региона. Без «нулевой отточки отсчета», которыми служат почвы минимально нарушенных человеком ландшафтов (ненарушенных ландшафтов в настоящее время практически нет), невозможно оценить размер антропогенной деградации почв и ландшафтов в целом. Состояние почв на таких территориях необходимо оценивать при всех видах мониторинга.

Выбранные объекты мониторинга должны быть четко зарегистрированы, нанесены на карту (или карто-схему), что обеспечивает возможность следить за изменением анализируемых показателей во времени.

Таким образом, объектами наблюдения при мониторинге, проводимом на всех уровнях, являются:

- ненарушенные (или минимально нарушенные) природные (заповедные) экосистемы;
- частично трансформированные естественные экосистемы (наиболее распространенные);
- собственно антропогенные, преобразованные человеком техногенные ландшафты, полностью утратившие природные черты, которые можно назвать искусственными (сведена растительность, загрязнены воды, почвы).

## ГЛАВА 10

# ВИДЫ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ПОЧВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

### 10.1. Контроль загрязнения почв

#### *10.1.1. Виды мониторинга загрязненных почв*

Виды экологического мониторинга загрязнения почв выделяют по типу контролируемой среды, по дальности и механизмам распространения загрязняющих веществ. В связи со спецификой природных сред различают биотический и абиотический мониторинг (Израэль, 1984). В соответствии с закономерностями распространения загрязняющих веществ выделяют уровни мониторинга: локальный; региональный, глобальный (Герасимов, 1975).

**Локальный мониторинг** называют еще санитарно-гигиеническим или импактным. Под санитарным состоянием почв понимается совокупность их физико-химических и биологических свойств, определяющих качество и степень безопасности почв в эпидемическом и гигиеническом отношениях. Он направлен на контроль уровня содержания в окружающей среде тех загрязняющих веществ, которые выбрасывает конкретное предприятие. Контролируются в первую очередь природные среды, наиболее чувствительные к данному загрязняющему веществу в реальных условиях. Если отходы сбрасываются в воду — проводится контроль воды, в атмосферу — контроль воздуха. Почвы анализируются в любом случае загрязнения окружающей среды.

Важно как раннее обнаружение экологической опасности, связанной с загрязняющими веществами, так и выявление закономерностей накопления их. Результаты обследования почв учитываются при установлении уровня загрязнения почв и составлении прогноза опасности

для здоровья и условий проживания людей в населенных пунктах, при разработке мероприятий по рекультивации почв, при профилактике заболеваний людей, при разработке технических решений по реабилитации и охране водосборных территорий, при установлении очередности санационных мероприятий и т. д. В населенных пунктах контроль проводят с учетом их функциональных зон. В первую очередь обследуются почвы территорий повышенного риска воздействия на здоровье населения (почвы окрестностей детских дошкольных, школьных и лечебных учреждений, селитебные территории, зоны санитарной охраны водоемов, питьевого водоснабжения, земли сельскохозяйственных и рекреационных зон).

Точки отбора проб почв располагают с учетом розы ветров, рельефа местности, растительного покрова и гидрологических условий, т. е. условий, которые обеспечивают распространение загрязняющих веществ от источника. Вблизи источника частота размещения точек пробоотбора больше (на расстоянии 50, 100, 200, 300 м), с удалением от него частота снижается. При контроле загрязнения почв транспортными магистралями пробные площадки закладывают на придорожных полосах с учетом названных факторов. Пробы отбирают с узких полос длиной 200–500 м на расстоянии 0–10, 10–50, 50–100 м от полотна дороги с глубины 0–10 см.

**Региональный мониторинг** — направлен на оценку влияния на состояние окружающей среды региона всех видов человеческой деятельности (распашка, разведение и вырубка лесов, градостроительство, транспорт, промышленное производство, энергетика, сельское хозяйство, торговая сеть, здравоохранение и пр.). Он представляет собой слежение за взаимодействием природы и человека в процессе природопользования. Контроль осуществляется различными службами: гидрометеослужбой, агрохимслужбой, гидрохимической, лесоустроительной, сейсмологической и другими службами. Этот вид мониторинга И.П. Герасимов называл еще геосистемным, так как в основу контроля распространения загрязняющих веществ в регионе положены принципы распространения природных химических веществ в геосистеме.

**Фоновый мониторинг** — обязательный вид мониторинга. Цель его — контроль состояния почв территорий, которые могут служить эталонами окружающей среды,

своего рода «нулевыми точками отсчета» при проведении локального и регионального мониторинга.

Фоновое содержание химических элементов в почвах характеризуют разными способами:

- 1) как содержание химических элементов в датированных погребенных почвах, проанализированных в настоящее время (при этом нужно принимать во внимание изменение природных условий, прежде всего климатических, с которыми могли быть связаны выявленные отличия современного состояния от прежнего, например содержания углеводов);
- 2) как содержание химических элементов в музейных почвенных образцах с известными датами их отбора и анализа (при этом необходимо сопоставить использованные в настоящем и в прошлом методы анализа);
- 3) на основе обобщения данных в литературе о прежнем составе почв (учитывая возможности методов их анализа);
- 4) по составу глубоких почвенных горизонтов (принимая во внимание, что аккумуляция в верхних горизонтах контролируемых веществ может быть связана как с их биогенным накоплением, так и с поступлением из атмосферы).

Более надежная характеристика фонового содержания контролируемых химических веществ в почвах может быть получена при проведении специального обследования фоновых почв. Объектами наблюдения для фонового мониторинга служат почвы, характерные для региона исследования, в минимальной степени подверженные антропогенному воздействию, например почвы в заповедниках или памятниках природы. Однако антропогенное влияние сказывается и на фоновом уровне (табл. 10.1).

Таблица 10.1

**Антропогенный вклад в загрязнение металлами атмосферы фоновых районов, %**

| Заповедник   | Pb | Cd | V  | Mn |
|--------------|----|----|----|----|
| Березинский  | 98 | 97 | 80 | 0  |
| Репетекский  | 50 | 68 | 23 | 0  |
| Баргузинский | 99 | 98 | 80 | 0  |

Регулярные наблюдения за почвами фоновых территорий позволяют оценить изменение их экологического состояния во времени.

Фоновый мониторинг является подсистемой глобального мониторинга, хотя последний имеет свои специфические задачи.

**Глобальный мониторинг** — это система контроля за общепланетарным распространением контролируемых, которое происходит за счет дальнего переноса их в атмосфере. Называют этот вид мониторинга также биосферным, так как его результаты характеризуют глобальные изменения состояния живых организмов на планете под влиянием человеческой деятельности.

Как и фоновый мониторинг, глобальный мониторинг проводится в таких же условиях, как и фоновый мониторинг. Различия между этими двумя видами мониторинга состоят в использовании полученных данных. Результаты фонового мониторинга используются как вспомогательные при проведении локального и регионального мониторинга. Глобальный мониторинг направлен на выполнение собственных задач: оценки интенсивности влияния глобального переноса веществ на состояние почв, удаленных от источников загрязнения. Выполняется в заповедниках, получивших от ЮНЕСКО статус биосферных заповедников.

Перечень контролируемых при экологическом мониторинге почв химических элементов обсужден в главе 6.4.

#### *10.1.2. Показатели состояния почв, определяемых при контроле загрязнения почв*

При обсуждении особенностей почвы как объекта мониторинга (гл. 2.4) отмечалась необходимость оценки способности почв как защищать от загрязняющих веществ воду и воздух, так и контролировать возможность их влияния на состояние живых организмов. Это служит основанием для выбора показателей состояния почв. При их выборе следует опираться на представления о почвенной системе соединений химических элементов, о свойствах почв, влияющих на нее.

Среди контролируемых показателей состояния почв (индикаторов) различают две группы: биохимические и почвохимические показатели.

К биохимическим относят показатели, характеризующие аккумуляцию в почвах самих загрязняющих веществ и возможность их непосредственного негативного влияния на живые организмы. К педохимическим показателям относят те свойства почв, изменение которых может быть вызвано загрязняющими веществами и которые могут косвенно отрицательно влиять на живые организмы.

#### **Биохимические показатели состояния почв**

К этой группе относят следующие показатели: а) общее содержание загрязняющих веществ, б) содержание соединений загрязняющих веществ, обладающих как реальной подвижностью (вещества в почвенных растворах, в лизиметрических водах, в вытяжках, имитирующих состав тех и других), так и непосредственно связанных с ними потенциально подвижных соединений этих же веществ в составе твердых фаз почвы. Содержание последних характеризует способность загрязняющих веществ переходить в вытяжки разбавленных кислот, растворов солей и комплексообразователей.

Показатели общего (валового) содержания в почве контролируемых элементов характеризуют запас в почвах соединений этих элементов природного и техногенного происхождения. Точное определение общего содержания химических элементов в почвах трудоемко, так как требует полного разложения алюмосиликатов, удерживающих значительную часть этих элементов, особенно в незагрязненных почвах (сплавление пробы, разложение кислотами с участием плавиковой кислоты).

При оценке состояния загрязненных почв общее содержание химических элементов является показателем менее информативным, чем, например, при оценке загрязнения воды или воздуха. Это один из исходных показателей, но он не всегда имеет первостепенное значение. Общее содержание химических веществ в почвах — важный показатель для получения первичной оценки состояния почв в ходе проведения локального и регионального мониторинга. Существует достаточно много данных и сводок о природном уровне общего содержания разных химических элементов (Hg, Pb, Cd, As, Zn, Cu и др.) в почвах мира, в верхних горизонтах почв России разных типов. Установлены особенности регионального фоновое содержания многих элементов. Выявлены закономерности изменения этого уровня в зависимости от гранулометрического состава и



гумусированности почв, от их реакции, от содержания элементов в почвообразующих породах, геоморфологического положения почв и других факторов. Анализ загрязненных почв позволяет оценить вклад техногенных факторов, таких как расстояние от источника загрязнения, состав и свойства отходов, содержащих загрязняющие вещества.

С расширением экологического контроля состояния почв все шире стали применять методы определения содержания кислоторастворимых (1н. HCl, 1н. HNO<sub>3</sub>) соединений контролируемых элементов. Нередко им стали присваивать название «условно-валовое содержание химических элементов». Применение в качестве реагентов разбавленных растворов минеральных кислот не обеспечивает полного разложения пробы, но позволяет перевести в раствор основную часть соединений химических элементов техногенного происхождения.

К подвижным формам химических элементов относятся компоненты гетерогенной почвенной системы соединений химических элементов, а именно вещества почвенного раствора, а также соединения, входящие в состав твердых фаз почвы, которые находятся в состоянии динамического равновесия с химическими элементами почвенного раствора. Удерживаются они твердыми фазами почв в результате реакций сорбции-десорбции, осаждения-растворения, ионного обмена, комплексообразования.

Реальную подвижность химических элементов в почвах характеризует их содержание в почвенном растворе или в составе вытяжек, когда в качестве экстрагента применяются слабо солевые растворы, с ионной силой, близкой к ионной силе природных почвенных растворов:

(0,01 – 0,05 М CaCl<sub>2</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub>).

Содержание подвижных соединений контролируемых элементов в составе твердых фаз почвы характеризует потенциальную опасность этих веществ для экосистемы, способность веществ переходить из почв в растения, в почвенные и грунтовые воды. Содержание потенциально подвижных соединений контролируемых элементов в почвах определяют преимущественно в вытяжке 1н. NH<sub>4</sub>CH<sub>3</sub>COO при разных значениях pH. Используют этот экстрагент и с добавлением комплексообразователей (0,02 – 1,0 М ЭДТА), а также смесь комплексообразователей, например, 0,005 М раствор ДТПА + 0,1 М ТЕАБ. Я.В. Пейве и Г.Я. Ринькисом предложены (1963) для некарбонатных почв индивидуаль-

ные экстрагенты подвижных соединений микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Co, B, Mo), но в настоящее время они почти не применяются.

Результаты диагностики состояния почв с помощью этих показателей свидетельствуют об их информативности. Многочисленные данные показывают, что при загрязнении различных ландшафтов общее содержание металлов и содержание их подвижных соединений в почвах повышается на порядки.

Для анализа чаще всего используют верхние слои почвы (0–2, 0–5, 0–10 см). Предметом анализа является также распределение загрязняющих веществ в почвенном профиле. Верхние горизонты почв играют роль геохимического барьера на пути потока веществ, поступающих из атмосферы. Эффективность этого барьера зависит от свойств почв и от природы самого вещества, его способности поглощаться почвой. В условиях промывного режима загрязняющие вещества могут проникать вглубь и накапливаться в иллювиальных горизонтах, которые также служат геохимическими барьерами (табл. 10.2).

Таблица 10.2

Содержание соединений меди и никеля в Al-Fe-гумусовых подзолах Кольского полуострова, мг/кг

| Горизонт, см               | Общее содержание |      | 1н. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ |     | 0,01н. $\text{KNO}_3$ |     |
|----------------------------|------------------|------|---------------------------------|-----|-----------------------|-----|
|                            | Cu               | Ni   | Cu                              | Ni  | Cu                    | Ni  |
| <b>Фоновые условия</b>     |                  |      |                                 |     |                       |     |
| Ао, 0–7                    | 30               | 137  | 2,4                             | 3,0 | 1,7                   | 1,9 |
| Е 7–15                     | 6                | 19   | 1,0                             | 1,1 | 0,7                   | 0,3 |
| Bhfa 15–23                 | 7                | 30   | 0,9                             | 1,3 | 0,6                   | 0,4 |
| BC 23–38                   | 10               | 32   | 1,0                             | 0,8 | 0,7                   | 0,2 |
| С 38–60                    | 9                | 35   | 0,8                             | 0,9 | 0,1                   | 0,1 |
| <b>Техногенные условия</b> |                  |      |                                 |     |                       |     |
| Ао 0–2                     | 806              | 1922 | 462                             | 240 | 67                    | 96  |
| Е 2–4                      | 16               | 124  | 9                               | 7   | 2                     | 2   |
| Bhfa1 4–8                  | 21               | 137  | 28                              | 19  | 3                     | 1   |
| Bhfa2 8–22                 | 35               | 149  | 7                               | 10  | 2                     | 1   |
| Вс 22–40                   | 19               | 139  | 2                               | 9   | 1                     | 1   |
| С 40–50                    | 31               | 121  | 0,6                             | 2   | 0,6                   | 0,6 |

Сведения о состоянии загрязненных почв могут быть использованы для сопоставления их с незагрязненными

аналогами. Возможно нахождение на их основе производных показателей. Такие показатели вычисляют для общего содержания металлов (неметаллов), для их подвижных форм. Вычисление соотношения содержания химического элемента в загрязненной почве и в незагрязненном аналоге часто используют в качестве относительного показателя загрязнения, или *коэффициента накопления*.

#### Педохимические показатели состояния загрязненных почв

Эти показатели состояния почв проявляют связь с соединениями загрязняющих веществ в почвах. Их называют еще косвенными. С одной стороны, свойства почв, которые характеризуют эти показатели, могут изменяться под влиянием загрязняющих веществ и тем самым вызывать ухудшение состояния микроорганизмов и растений. С другой стороны, изменение обсуждаемых химических свойств вызывает в почвах превращения соединений загрязняющих веществ, которые влияют на их токсико-экологические свойства. Если прямые показатели загрязнения информативны при оценке выполнения почвами их защитных функций в экосистеме, то косвенные показатели в большей мере отражают способность почв обеспечивать плодородие.

Контроль косвенных показателей химического загрязнения может быть эффективным как при выявлении деградации почв, так и при характеристике устойчивости почв к загрязнению и прогнозе последствий загрязнения почв.

К педохимическим показателям относятся показатели важнейших химических свойств почв: показатели гумусного состояния почв, кислотно-основных свойств, катионно-обменных, в отдельных случаях окислительно-восстановительных свойств почв.

Изменение гумусного состояния загрязненных почв по сравнению с незагрязненными почвами непосредственно связано с ухудшением состояния микробоценоза, что может приводить к ослаблению разложения органических остатков и к их накоплению, к снижению скорости минерализации гумуса. Вследствие изменившихся процессов трансформации органических веществ в почве меняется их групповой и фракционный состав. Например, в загрязненных дерново-подзолистых почвах по сравнению с аналогичными фоновыми наблюдается повышение количества

фульвокислот и снижение содержания свободных гуминовых кислот и водорастворимых органических веществ, а в составе водорастворимых соединений — уменьшение содержания углеводов. Есть данные о понижении общего содержания углерода подзолистых почв при загрязнении металлами (предположительно за счет увеличения миграции органо-минеральных веществ). В почвах, загрязненных нефтью, наблюдается увеличение общего содержания органического углерода, относительное уменьшение количеств гуминовых и фульвокислот, возрастание содержания нерастворимого остатка. Загрязнение нефтью или металлами ведет к уменьшению подвижности соединений азота, что является следствием падения интенсивности биохимических процессов.

Вследствие загрязнения почв металлами и металлоидами в них меняется состав обменных катионов: увеличивается доля ионов металлов, снижается содержание обменных катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , чему могут способствовать не только поглощенные металлы, а и протон, и ионы алюминия. Вследствие изменения гумусного состояния возможно уменьшение ЕКО. Примером является снижение ЕКО в черноземах, загрязненных газо-пылевыми выбросами медного комбината, уменьшение содержания обменных ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , изменение степени насыщенности ППК основаниями. В почвах нефтегазоносных районов, напротив, появились легко-растворимые соли, увеличился рН почвенного раствора, а в составе ППК повысилась доля обменного натрия.

С загрязнением почв может быть связано изменение их кислотно-основных свойств. Причиной могут быть кислотные осадки, действие которых на биосферу проявляется в глобальном масштабе. Возрастает объем выпадений оксидов серы и азота. Увеличение содержания сульфатов в осадках до 4–15 мг/л вызывает закисление осадков. Уровень рН осадков, в естественных условиях равный 5 и более, в техногенной зоне снижается до 4,2–4,5.

Подкисление почв может быть вызвано поступлением оксидов металлов и их кислотного гидролиза, внесением физиологически кислых удобрений. Повышение рН в техногенных почвах может происходить вследствие загрязнения их боратами, фторидами, сульфидами. За счет этих процессов меняются уровни рН  $\text{H}_2\text{O}$ , рН  $\text{KCl}$ , обменной и гидrolитической кислотности.

Изменение кислотно-основных условий существенно меняет многие химические процессы в почве:

1. В почвах меняется структура кислотности. В естественных почвах лесной зоны в органогенных горизонтах кислотность обусловлена органическими кислотами, преимущественно фульвокислотами, в минеральных горизонтах велико влияние на кислотность соединений алюминия. Техногенное подкисление почв ведет к увеличению доли минеральных кислот по сравнению с органическими. В сильно кислых почвах, как правило, изменяется соотношение ионов, обуславливающих кислотные свойства. Среди соединений алюминия мономеры  $Al^{+3}$  начинают преобладать над связанными формами алюминия (гидроксокомплексами, сульфатными комплексами и другими).

2. Подкисление ведет к изменению подвижности многих химических элементов, в том числе типоморфных элементов, элементов питания, самих загрязняющих веществ:

- а) подкисление ведет к накоплению аморфных форм Al и Fe, которое происходит за счет высвобождения Fe и Al из структуры алюмосиликатов, выпадения их в осадок в форме коллоидов и аморфных соединений высокой степени дисперсности. Возможно также преобразование ранее окристаллизованных форм в аморфные несиликатные соединения Fe и Al;
- б) происходит изменение подвижности элементов питания растений за счет повышения растворимости соединений, содержащих азот, фосфор, калий. Например, подкисление почв ведет к росту доступности растениями фосфатных удобрений;
- в) изменение мобилизации соединений металлов и неметаллов.

3. Кислотность почвенного раствора влияет на формирование подвижных соединений поллютантов. От кислотности раствора зависят форма нахождения, знак и величина заряда частиц в растворе, заряд коллоидных частиц, на поверхности которых происходит поглощение загрязняющих веществ, растворимость осадков соединений поллютантов.

4. Форма нахождения, знак и величина заряда частиц в растворе являются важными факторами, обуславливающими и количество поглощенных почвенными частицами ионов, и прочность их фиксации. В кислой среде относительно выше доля свободных ионов металлов  $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$ , с увеличением pH растет доля гидроксокомплексов, которые поглощаются твердыми фазами (в том числе и за счет ионного обмена) менее прочно, чем свободные ионы. Что

касается многоосновных кислот, например мышьяковой, молибденовой, борной, с ростом pH увеличивается степень их депротонизации.

5. Кислотно-основные условия влияют на поглощательную способность твердых фаз почвы амфолитоидной природы. Это происходит прежде всего потому, что ионизация функциональных групп, обеспечивающих ионный обмен, протекает по-разному, в зависимости от pH. У органических и минеральных коллоидов амфолитоидной природы с увеличением pH растет отрицательный заряд, а с уменьшением pH — положительный заряд. Величина pH — зависимого заряда органических веществ обусловлена присутствием в их составе протеинов, содержащих как кислотные COOH, так и основные  $\text{NH}_2$  групп. Заряд оксидов и гидроксидов Fe и Al формируется за счет отдачи или присоединения протона при разных уровнях pH. В результате изменения заряда поверхности белков, несиликатных соединений Fe и Al поглощение поллютантов в анионной форме растет с понижением pH и снижается в щелочной среде, для поллютантов в катионной форме зависимость обратная. Снижение поглощения металлов в кислой среде сопровождается ростом конкуренции протонов за обменные позиции в почвенном поглощающем комплексе.

Например, поглощение дерново-подзолистой почвой пестицида атразина, преимущественно находящегося в почве в форме аниона, при pH 2–5 почти в 20 раз выше, чем при pH 7. Однако не во всех случаях поглощения загрязняющих веществ состав почвенного поглощающего комплекса играет ведущую роль. Например, поглощение арсенат ионов при pH 8,2 превышает его поглощение при pH 4,5 в связи с преобладанием двухзарядных ионов  $\text{HAsO}_4^{2-}$  над однозарядными и незаряженными. Падение с повышением pH положительного заряда на поверхности почвенных амфолитоидов отстает от роста количеств двухзарядных арсенат ионов в растворе и существенного влияния на поглощение мышьяка не оказывает.

Важные экологические последствия имеют выводы, полученные при исследовании закономерностей поглощения ртути от уровня pH. Установлено, что максимальное количество ртути поглощается при pH 4,5–6,5. В этой области преобладающей формой являются незаряженные комплексы  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ , которые непрочно удерживаются в процессе физической сорбции.

6. Кислотно-основные условия влияют на растворимость осадков, в состав которых входят загрязняющие вещества. Влияние обусловлено процессами протонизации и комплексобразования, по-разному протекающими в зависимости от рН. Например, повышение рН ведет к увеличению депротонизации анионов многоосновных кислот, например мышьяковой, и к усилению комплексобразования металлов в растворе.

Изменение ОВП почв возможно за счет загрязнения органическими веществами, которые влияют на биоту и биологическую активность почв, могут менять водно-воздушный режим почв (например нефтепродукты).

Итак, для контроля изменения свойств почв в результате загрязнения рекомендуется перечень следующих косвенных показателей загрязнения: кислотно-основные свойства (рН  $H_2O$ , рН КСl, обменная, гидролитическая кислотность), содержание подвижных соединений P, N, K, показатели ферментативной активности, показатели гумусного состояния почв (общее содержание гумуса, групповой состав, водорастворимые вещества), ионообменные свойства (ЕКО, состав обменных катионов), содержание легкорастворимых солей, ОВП.

### *10.1.3. Выбор тестовых участков при контроле состояния загрязненных почв*

Принципы выбора точек пробоотбора на фоновой и загрязненной территории различаются. На фоновой территории местоположение тестовых участков определяют в зависимости от ландшафтных особенностей района, для чего проводится рекогносцировочное обследование территории. При этом выявляются тип почвообразующих пород, рельефа, растительности, тип почвообразования. На начальной стадии могут быть выявлены местные геохимические аномалии по загрязняющим веществам, связанные с рудопроявлением. Количество и расположение таких тестовых участков зависит от ландшафтно-геохимических и почвенных особенностей территории. Характер миграции элементов определяется родом геохимического ландшафта. Наиболее распространены следующие три рода:

1-й род — плоские равнины с замедленным водообменом, слабым эрозионным расчленением или без него. Это приморские низменности, аллювиальные равнины, вулканические и другие плато.

2-й род — чередование плоских поверхностей со склонами. При этом поверхностный и подземный сток более энергичен. Это эрозионные возвышенности, расчлененные плато.

3-й род — склоновые участки, плоских поверхностей почти нет. Характеризуются энергичным водообменом. Горный и сильно холмистый рельеф.

Для ландшафтов 1-го рода как в гумидных, так и в аридных условиях, при отсутствии выраженных зон аккумуляции элементов, обусловленных рельефом, местоположение участка зависит только от свойств почвы. Анализу подлежат почвы, обладающие различной буферной способностью к загрязнению.

Для ландшафтов 2-го и 3-го родов выбор зон для тестовых участков определяется ландшафтно-геохимическими условиями. Тестовые участки располагаются и в аккумулятивном, и элювиальном ландшафтах. К элювиальным ландшафтам приурочен контрольный тестовый участок. Содержание поллютантов в почвах аккумулятивных ландшафтов свидетельствует об их миграции в данных условиях.

На загрязненной территории точки для отбора проб почв размещают на разном расстоянии от источника загрязнения и с учетом розы ветров. Частота размещения точек опробования больше вблизи источника загрязнения (50, 100, 200, 300 м) и сокращается по мере удаления. Форма ареала обследования не является кругом, а представляет собой неправильную фигуру, вытянутую по розе ветров. При выборе точек опробования принимают во внимание категорию сложности организации ландшафта и структуру почвенного покрова так, как это учитывается при почвенном картировании.

На тестовых участках проводятся регулярные и периодические наблюдения. На основе многолетних исследований установлено, что повторное определение подвижных форм контролируемых элементов целесообразно проводить через несколько лет (1 — 5). Периодичность определяется степенью промышленной освоенности территории, удаленностью от крупных загрязняющих объектов, особенностями контролируемого элемента.

#### *10.1.4. Экологическое нормирование качества загрязненных почв*

Задачей экологического мониторинга является оценка состояния окружающей среды на основе регулярных наблюдений. «Ценой» при этом являются нормативы качества



окружающей среды. Цель экологического нормирования — сохранение экосистемы, ее структуры и функционирования. Подходы к оценке качества окружающей среды (в том числе почв) разнятся. Одни имеют четкую **антропоцентристскую** направленность, то есть за «нормальную» принимается среда, обеспечивающая требуемое качество жизни человека. Согласно **экосистемным подходам**, «нормальной» следует считать такую экосистему, в которой значимые антропогенные нарушения отсутствуют во всех звеньях экосистемы. Это служит гарантией обеспечения сохранения живых организмов и жизни человека. Санитарно-гигиеническое нормирование состояния почв — яркий пример антропоцентристского подхода, экологическое нормирование — пример экосистемного подхода.

#### **Санитарно-гигиеническое нормирование содержания в почвах загрязняющих веществ**

При санитарно-гигиеническом нормировании состояния окружающей среды под «нормой» понимается такое состояние окружающей среды, которое не оказывает отрицательного влияния на здоровье человека. Санитарно-гигиеническим критерием качества окружающей среды служат **предельно допустимые количества (ПДК)** химических веществ в объектах окружающей среды. ПДК соответствуют максимальному содержанию химического вещества в природных объектах, которое не вызывает негативного (прямого или косвенного) влияния на здоровье человека (включая отдаленные последствия). Гигиена — раздел практической медицины, изучающей влияние внешней среды на здоровье человека. Санитария — практическая сторона гигиенического направления медицины.

Предполагается, что предельно допустимые количества (ПДК) химических элементов в воде, воздухе, почве, кормах, сельскохозяйственных продуктах не представляют опасности для человека, а среда, отвечающая санитарно-гигиеническим нормам, не ухудшает здоровья человека, как одного из видов живых организмов.

Начало определению ПДК химических веществ в нашей стране положено определением ПДК загрязняющих веществ в воздухе рабочих помещений в 1925 году. В 1949 году были определены первые ПДК для атмосферного воздуха, в 1950-м — для воды. К 1971 году перечень контролируемых веществ в воздухе составлял 120 наименований. В 1989 году были разработаны ПДК более чем для 300 химических

веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, и почти 1000 нормативов для вод, используемых с различными целями. Для почв разработаны ПДК по значительно меньшему числу химических веществ (около 30). После начала перестройки в РФ определение ПДК химических веществ в природных средах приостановлено.

Практическое определение ПДК химических веществ в почвах и других природных средах проводится в лабораторных условиях путем выявления взаимосвязи между состоянием живых организмов и содержанием химических веществ в окружающей их среде (воде, воздухе, пище). Эксперимент ведется по типу: «доза — эффект», т. е. прослеживается изменение состояния опытных растений и животных при меняющемся уровне содержания различных химических веществ в среде. Установлен (Ковальский, 1974) общий вид зависимости между состоянием любых организмов (растения, животные) и концентрацией различных веществ в окружающей их среде. Всегда существует зона оптимального содержания химических веществ в окружающей среде, обеспечивающего наиболее благоприятные условия для живых организмов. При отклонении от этой оптимальной области содержания химических веществ в сторону снижения содержания этих веществ (недостаточность элементов, обеднение ими среды) или в сторону повышения (избыточность элементов, в том числе загрязнение ими среды) всегда наблюдается нарушение и ухудшение состояния организмов, вплоть до их гибели.

Это узкоприкладной подход. Основным токсикологическим показателем является общий санитарный показатель, в качестве которого используется параметр ЛД 50 — доза химического вещества, которая вызывает гибель 50 % подопытных животных. По полулетальной дозе вещества в воздухе, которым дышат животные, в воде и пище, которую они потребляют, определяют допустимое для живых организмов содержание веществ соответственно в воде, воздухе, продуктах питания.

Но с почвой прямые контакты человека несущественны или не имеют места вообще. Контакт почвы с организмом человека происходит опосредованно по цепочкам: *почва — растение — человек; почва — растение — животное — человек; почва — воздух — человек; почва — вода — человек*. Определение ПДК химических веществ в почвах

фактически сводится к экспериментальному определению способности этих веществ поддерживать допустимую для живых организмов концентрацию веществ в контактирующих с почвой воде, воздухе, растениях.

Именно поэтому ПДК химических веществ для почв устанавливается не только по общесанитарному показателю, как это принято для других природных сред, а еще и по трем другим показателям: транслокационному, миграционному водному и миграционному воздушному (табл. 10.3).

Таблица 10.3

**Предельно допустимые концентрации химических элементов в почвах (мг/кг)**

| Элемент              | Кларк почв (Виноградов, 1962) | ПДК  | Показатель вредности |                  |                     |                        |
|----------------------|-------------------------------|------|----------------------|------------------|---------------------|------------------------|
|                      |                               |      | общесанитарный       | транслокационный | миграционный водный | миграционный воздушный |
| Общее содержание     |                               |      |                      |                  |                     |                        |
| Mn                   | 800                           | 1500 | 1500                 | 3500             | 1500                |                        |
| V                    | 100                           | 120  | 150                  | 170              | 350                 |                        |
| Pb                   | 10                            | 32   | 30                   | 35               | 260                 |                        |
| Hg                   | 0,01                          | 2,1  | 5,0                  | 2,1              | 33                  | 2,5                    |
| Подвижные соединения |                               |      |                      |                  |                     |                        |
| F                    | 200                           | 2    |                      | 2                |                     |                        |
| Cu                   | 20                            | 3    | 3                    | 3,5              | 72                  |                        |
| Ni                   | 40                            | 4    | 4                    | 4                | 14                  |                        |
| Zn                   | 50                            | 23   | 37                   | 93               | 200                 |                        |
| Co                   | 8                             | 5    | 5                    | 25               | 1000                |                        |
| Cr                   | 200                           | 6    | 6                    |                  |                     |                        |

Транслокационный показатель определяют по способности почв обеспечивать содержание химических веществ на допустимом уровне в растениях (тест культурами служат редис, салат, горох, фасоль, капуста и др.). Соответственно миграционный водный и миграционный воздушный — по способности обеспечивать содержание этих веществ в воде и в воздухе не выше ПДК. В качестве объекта лабораторного исследования использовали образец верхнего горизонта дерново-подзолистой почвы.

Норматив для почв устанавливается по наименьшему из всех экспериментально найденных показателей. Например, для общего содержания ванадия в почве установлен уровень ПДК, равный 150 мг/кг, в то время как этому уровню соответствует только общесанитарный показатель, а водный миграционный равен 350 мг/кг почвы. ПДК содержания подвижных соединений цинка в почве измеряется 23 мг/кг, этот уровень установлен по общесанитарному показателю, при этом миграционный водный показатель равен 200 мг/кг.

Уровни ПДК, установленные по разным показателям, отражают как токсичность химических веществ, так и доминирующий механизм их распространения в природных средах. Например, для бенз(а)пирена и ртути лимитирующим показателем является общесанитарный, для мышьяка — транслокационный, для хлористого калия — водный, для сероводорода — воздушный (табл. 10.4).

Таблица 10.4

ПДК химических веществ в почвах (мг/кг)  
и их лимитирующие показатели

| Вещество     | ПДК (общее содержание) | Лимитирующий показатель |
|--------------|------------------------|-------------------------|
| Бенз(а)пирен | 0,02                   | Общесанитарный          |
| Ксилол       | 0,3                    | Транслокационный        |
| Ртуть        | 2,1                    | Транслокационный        |
| Свинец       | 32                     | Общесанитарный          |
| Сероводород  | 0,4                    | Воздушный миграционный  |
| Формальдегид | 7,0                    | Воздушный миграционный  |
| Стирол       | 0,1                    | Воздушный миграционный  |

Однако санитарно-гигиенические нормативы качества почв не лишены недостатков; основной состоит в том, что условия модельного эксперимента определения ПДК и естественные условия разнятся довольно существенно.

Назовем некоторые из них. 1. Существует неопределенность в определении понятия ПДК химических веществ для почв. Оно характеризует ПДК, как ту концентрацию вещества в почве, которая безопасна для живых организмов. Но критерии отрицательного влияния на них химических веществ не определены. 2. Не учтено время воздействия поллютанта. Эксперимент по определению ПДК длится,

как правило, не более года, но этого срока недостаточно для того, чтобы оценить отдаленные последствия влияния химических веществ на живые организмы. Чем более долгим был контакт вещества с организмом, тем ниже будет отклик организма. 3. При установлении ПДК моделируется действие на живые организмы, как правило, одного фактора, в крайнем случае двух или трех. Но в реальных условиях организм подвергается комплексному воздействию ряда факторов, совместное действие которых во внимание не принимается. 4. Выводы, полученные на основании опытов с животными, переносятся без полного основания на человека. Но низшие животные (особенно крысы, мыши) более устойчивы к факторам внешней среды, чем люди. Перенесение результатов, полученных на таких животных, на человека недостаточно обоснованно и неадекватно. 5. Как правило, не учитываются генетические последствия, возможность сохранения нарушений в живых организмах под влиянием химических веществ. Не учитываются индивидуальная, наследственная и видовая чувствительность организмов, их адаптационные возможности, биологические ритмы. 6. ПДК для почв несут в себе все погрешности определения ПДК для других природных сред. Например, при разработке ПДК для вод учитывается влияние только истинно растворимой фракции этих веществ, а не всех возможных форм их нахождения (взвеси, коллоиды). 7. Не учтено, что многие поллютанты, например, тяжелые металлы, пестициды, обладают кумулятивным эффектом. Не учитывается способность химических веществ концентрироваться в трофической цепи. Химические вещества концентрируются в организме человека в большей мере, чем в организме животных, а те, в свою очередь, в большей мере, чем в растениях. А это значит, что в тех случаях, когда уровни ПДК химических веществ в низших звеньях трофической цепочки не достигнуты, не исключается возможность их накопления на более высоких уровнях (и соответственно превышение ПДК). 8. Не учитывается возможность трансформации химических веществ, их накопления на различных биогеохимических барьерах. 9. Не учитывается взаимодействие химических веществ. При различных видах взаимодействия (аддитивность, антагонизм, синергизм) возможно образование структур более опасных, чем исходные соединения. 10. Не оценивается в полной мере качество природных сред в целом,

например, при разработке нормативов для воды учитывается воздействие любого вещества на воду, используемую в определенных целях (питьевых, рыбохозяйственных, технических, рекреационных), но не рассматривается влияние этих веществ на воду как целостную природную систему, как природный ресурс. 11. Не учитываются свойства почвы. Но влияние сорбционной способности почв, содержания гумуса, кислотно-основных условий, гранулометрического состава обуславливает способность почв к самоочищению. Следствием невнимания к свойствам почв является неприемлемый для использования уровень ПДК мышьяка в почвах. Этот показатель был установлен первым при разработке ПДК для почв, когда гигиенисты использовали в работе не образец почвы, а чистый песок, обладающий минимальной поглощательной способностью. В результате был установлен такой уровень ПДК мышьяка, который ниже уровня содержания элемента в большинстве почв.

Одним из этапов решения проблемы экологического нормирования был подход, основанный на определении допустимой нагрузки на почву с учетом ее буферных свойств, обеспечивающих способность почвы ограничивать подвижность поступающих извне химических веществ, способность к самоочищению. Такие подходы развиваются в России и в других странах.

Однако разработать ПДК для каждого типа почв невозможно. Целесообразна разработка нормативов химических веществ для почвенно-геохимических ассоциаций, объединенных общностью основных физико-химических свойств, определяющих их устойчивость к химическому загрязнению.

На следующем этапе для ряда химических элементов были разработаны ОДК (ориентировочно допустимые количества) этих элементов для почв, различающихся по важнейшим свойствам (по кислотности и гранулометрическому составу). Они были разработаны не на основе стандартизованного экспериментального метода, а на основе обобщения имеющихся сведений о взаимосвязи между уровнем нагрузки на почвы, состоянием почв и сопредельных сред.

В основу группировки почв по устойчивости к тяжелым металлам в первую очередь положены кислотно-щелочные условия, господствующие в тех или иных почвах. Для группировки почв было принято во внимание распространение

основных геохимических ассоциаций почв на территории России. Наибольшую площадь распространения имеют геохимические ассоциации почв с кислой и нейтральной реакцией среды с подразделением на две группы:

- почвы с очень кислой и кислой реакцией (рН водной вытяжки <5);
- почвы со слабокислой и нейтральной средой (рН 5–7).

В эти две ассоциации, занимающие 60–70 % площади России, войдут практически все подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные и часть черноземов, включая их окультуренные варианты. Важен учет гранулометрического состава почв, особенно для почв первой группы. Поэтому почвы этой группы были разбиты на две подгруппы по гранулометрическому составу:

а) песчаные и супесчаные почвы, обладающие наименьшей устойчивостью к загрязнению;

б) суглинистые и глинистые почвы, относительно более устойчивые к загрязнению химическими веществами.

По этому принципу в нашей стране были определены ориентировочно допустимые количества (ОДК) химических элементов в почвах (табл. 10.5). Отличие их от зарубежных в том, что они рассчитаны с учетом фонового содержания и дифференцированы в зависимости от реакции и гранулометрического состава почв.

Таблица 10.5

**Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК)  
тяжелых металлов и мышьяка в почвах  
(общее содержание, мг/кг) (1994)**

| Группы почв   | Ni | Cu  | Zn  | As | Cd  | Pb  |
|---|----|-----|-----|----|-----|-----|
| а) песчаные и супесчаные  | 20 | 33  | 55  | 2  | 0,5 | 32  |
| б) кислые суглинистые<br>и глинистые,<br>рН КСl <5,5                                  | 40 | 66  | 110 | 5  | 1,0 | 65  |
| в) близкие к нейтральным,<br>нейтральные (суглинистые<br>и глинистые),<br>рН КСl >5,5 | 80 | 120 | 220 | 10 | 2,0 | 130 |

Уровни ОДК для одного и того же элемента для почв с разными свойствами различаются в 4–5 раз.

Наиболее опасны ксенобиотики — вещества искусственной природы. Отдаленные последствия их воздействия на живые организмы неизвестны. Характер влияния искусственных токсикантов на живые организмы отличается от действия веществ, являющихся естественными составляющими почв, тем, что при изменении концентрации таких веществ во внешней среде в живых организмах не обнаруживаются области стимулирования. Любые концентрации этих веществ в окружающей среде ведут к патологии. Скорость синтеза и выпуска многих из таких веществ, например пестицидов, выше скорости их нормирования. Пестицидов используется в настоящее время свыше 1000 наименований, не для всех из них есть ПДК.

При несовершенстве санитарно-гигиенических нормативов для содержания химических элементов в почвах, следует признать, что подходы и методы их определения имеют экологическую направленность. Эти подходы опираются на роль и механизмы связи почвы с другими природными средами.

#### **Биогеохимическое нормирование**

В основе биогеохимического нормирования лежит медико-географический подход. Он основан на натуральных наблюдениях в таких регионах, где самой природой созданы условия избытка или недостатка тех или иных химических элементов естественного происхождения в природных средах. Эти регионы называются биогеохимическими провинциями, и результаты регулярных наблюдений в них за состоянием живых организмов, в том числе и за здоровьем людей, позволяют установить связь их с содержанием элементов в природных средах.

Ценность этого подхода — в опоре на фактический, а не экспериментальный материал. Теоретическая основа здесь совершенно иная, чем при санитарно-гигиеническом нормировании. Предполагается, что каждому биогеохимическому таксону (ландшафту, экотопу) соответствует четкая взаимосвязь и взаимообусловленность пищевых цепей, которая складывалась длительное время. Она адаптирована к природным специфическим условиям, с которыми связаны миграция и аккумуляция любых химических веществ. Живые организмы реализовали все природные механизмы сопротивления внешнему воздействию, их состояние соответствует химическому составу окружающей среды.



На вероятностной основе определяются верхние и нижние границы, в рамках которых состояние большинства живых организмов (животных, растений, человека) в зонах биогеохимических провинций не отклоняются от нормы, т. е. где осуществляется саморегуляция системы. Но, как правило, 5–20 % людей или животных в эндемических районах оказываются пораженными. Чем больше содержание химических элементов превышает пороговые уровни, тем выше число пострадавших. Процесс естественного отбора при этом обостряется.

Выявлена связь между недостатком или избытком ряда элементов в природных средах и состоянием живых организмов, например, кобальтом и синтезом витамина  $B_{12}$  и, как следствие, анемией при акалоптозе, Pb, Hg, Mo — и интоксикацией; F — флюорозом и другими костными заболеваниями; Cu, Zn, Mn, B — и хлорозом многих видов растений; Cu — и суховершинностью растений, B — и эндемическими энтеритами; I — и эндемическим зобом; Sr — и особыми формами рахита; Ni — и кожными заболеваниями; Se — и мышечной болезнью животных. Таким образом, состояние живых организмов в зоне биогеохимических провинций служит индикатором уровня содержания химических элементов в окружающей среде.

На основе этой концепции разработаны методы биогеохимического экологического нормирования. Проведено районирование биогеохимических эндемий на принципах почвенно-географического и биогеохимического районирования. Они соответствуют принципам выделения почвенных зон В.В. Докучаевым еще в 1989–1900 годах, почвенных провинций Л.И. Прасоловым (1939), климатических зон Л.С. Бергом (1958), геохимических провинций А.Е. Ферсманом (1931), биогеохимических провинций, выделяемых А.П. Виноградовым (1938). Активно привлекаются приемы медицинской ветеринарной географии биогеохимических эндемий.

В результате вся территория страны разделена на БГХ зоны: таежно-лесную нечерноземную, лесостепную и степную черноземную; сухостепную; полупустынную и пустынную; горную. Каждая из зон неоднородна, мозаична. В ней могут быть выделены биогеохимические провинции с различным уровнем содержания в природных средах химических веществ. Особенно отличаются биогеохимические провинции над рудными телами. Такое районирование позволило связать биологическую реакцию организмов, их адаптацию с природ-

ными факторами, с количественными показателями состава почвообразующих пород, почв, вод, растительного покрова.

Для выделенных провинций проведен анализ экологических параметров. В биогеохимических провинциях, для которых характерно недостаточное или избыточное по сравнению со средним содержание химических элементов в природных средах, выявлена связь между состоянием живых организмов и составом компонентов окружающей среды. Определены те концентрации химических элементов в почвах, водах, растениях, выше и ниже которых нарушаются обменные процессы в живых организмах.

На основе биогеохимического районирования В.В. Ковальским установлены пороговые концентрации ряда химических элементов в почвах (табл. 10.6).

Таблица 10.6

**Пороговые концентрации некоторых химических элементов в почвах, мг/кг (по Ковальскому, 1964)**

| Элемент | Нормальное содержание | Нижняя граница пороговой концентрации | Верхняя граница пороговой концентрации |
|---------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| Co      | 7 – 30                | 2 – 7                                 | >30                                    |
| Cu      | 15 – 60               | 6 – 15                                | >60                                    |
| Mn      | 400 – 3000            | <400                                  | >3000                                  |
| Zn      | 30 – 70               | <30                                   | >70                                    |
| B       | 6 – 30                | 6-30                                  | >30                                    |
| Mo      | 1,5 – 4               | >1.5                                  | >4                                     |
| Sr      | 600                   | ?                                     | 600 – 1000                             |
| J       | 5 – 40                | 2 – 5                                 | >40                                    |

Проверкой эффективности используемого подхода может быть реакция живых организмов на исправление установленного дефицита добавкой дефицитного элемента. Например, введение селенита животным из биогеохимической провинции не вызывало никаких отрицательных последствий, а введение животным из фоновых районов вело к нарушениям их состояния.

#### **Статистическое нормирование**

Статистический прием определения уровней допустимых концентраций химических веществ в почвах состоит в определении усредненных (наиболее распространенных) уровней содержания химических элементов в природных

средах в естественных условиях. Теоретическая основа такого подхода: среднее содержание химических элементов в природных средах в естественных условиях соответствует условиям нормального состояния живых организмов.

Методически задача состоит в том, чтобы определить фоновые уровни (а при отсутствии фоновых — кларки) содержания химических элементов в почвах, учесть их природное варьирование, и отклонением от нормы считать значимое превышение верхнего предела возможных уровней содержания этого элемента. За значимое принимается превышение от среднего содержания элемента на 3 стандартных отклонения.

На такой основе построены некоторые зарубежные системы ПДК для почв (табл. 10.7).

Таблица 10.7

**ПДК химических элементов в почвах (мг/кг)  
по данным исследователей разных стран**

| Элемент | El Bassam, Tietjen, 1977 | Linzon, 1978 | Kabata-Pendias, 1979 | Kloke, 1979 | Kitagishi, Yamane, 1981 |
|---------|--------------------------|--------------|----------------------|-------------|-------------------------|
| As      | 50                       | 25           | 30                   | 20          | 15                      |
| B       | 100                      | 100          | 25                   |             |                         |
| Be      | 10                       | 10           | 10                   |             |                         |
| Cd      | 5                        | 8            | 5                    | 3           |                         |
| Co      | 50                       | 25           | 40                   | 50          | 50                      |
| Cr      | 100                      | 75           | 100                  | 100         |                         |
| Cu      | 100                      | 100          | 100                  | 100         | 125                     |
| F       | 500                      |              | 1000                 | 200         |                         |
| Hg      | 5                        | 0,3          | 5                    | 2           |                         |
| Mo      | 10                       | 2            | 10                   | 5           |                         |
| Ni      | 100                      | 100          | 100                  | 100         | 100                     |
| Pb      | 100                      | 200          | 100                  | 100         | 400                     |
| Se      | 10                       | 5            | 10                   | 10          |                         |
| V       |                          | 60           | 100                  | 50          |                         |
| Zn      | 300                      | 400          | 300                  | 300         | 250                     |

К этой группе нормативов качества почв может быть отнесен показатель суммарного загрязнения почв  $Z_c$  (табл. 10.8). Рассчитывают его по формуле, предложенной Ю.Е. Саеом:

$$Z_c = (S_{Cl}/C_{\phi}) - (n - 1).$$

Таблица 10.8

Показатель суммарного загрязнения почв  $Z_c$ 

| Категория загрязнения почв | Показатель суммарного загрязнения |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Допустимая                 | 1 – 8                             |
| Слабая                     | 8 – 16                            |
| Средняя                    | 16 – 32                           |
| Сильная                    | 32 – 64                           |
| Очень сильная              | 64 – 128                          |

**Нормирование состояния загрязненных почв на основе концепции экологического риска**

В связи с повышением числа катастроф природного и техногенного характера во всем мире повышается внимание к оценке риска, угрозы жизни человека, в том числе экологического риска. Определение понятия дано в Федеральном законе РФ об охране окружающей среды (2002): риск от химического загрязнения почв — это нежелательные для человека и почв последствия антропогенной деятельности, которые могут произойти с определенной долей вероятности. Понятие экологического риска связано с понятием опасности, крайней степенью проявления которой является экологическая катастрофа.

Оценка экологического риска для определенного ландшафта вследствие загрязнения почв любыми химическими веществами проводится на основе сведений о реальной нагрузке загрязняющих веществ на почвы, их миграции в ландшафте и учете устойчивости почв к загрязнению.

При этом принимаются во внимание следующие факторы, характеризующие исследуемый ландшафт: 1) тип почв — характеризует кислотно-щелочные условия, содержание и тип гумуса, численность и видовой состав микрофлоры; 2) гранулометрический состав — характеризует почвенную поглощательную способность, содержание физической глины и песка; 3) положение в рельефе — характеризует степень геохимической подчиненности почв в ландшафте, т. е. интенсивность и направленность процессов рассеивания и аккумуляции загрязняющих веществ; 4) водный режим почв — характеризует соотношение количества осадков и испаряемости; 5) тип растительности — характеризует биологический фактор, оказывающий влияние на степень подвижности загрязняющих веществ; 6) почвообразующие

породы — характеризует направление и скорость почво-образовательного процесса.

Негативный эффект влияния повышенной нагрузки на почвы оценивается по реакции чувствительных живых организмов. Чаще всего это проводится по реакции чувствительных микроорганизмов почвы.

Для нахождения ориентировочного показателя экологического риска для почвы нужны два показателя: общей химической нагрузки загрязняющего вещества (или загрязняющих веществ) на почвенный покров и критической и нагрузки этих же поллютантов на эту территорию. Общую химическую нагрузку (кг/га или т/га) находят по массе всех потоков вещества на данную территорию. Основными источниками их на пахотных почвах чаще всего являются атмосферные выпадения и средства химизации.

Под критической нагрузкой понимается максимально безопасное для данного ландшафта количество загрязняющего вещества. Критическую нагрузку находят, принимая во внимание все механизмы трансформации и перераспределения исследуемых веществ на данной территории (вынос из верхнего слоя за счет внутрпочвенной биогенной и абиогенной миграции, поверхностный сток в сопредельные среды и пр.), а также механизмы устойчивости почв данной территории (основываясь на поглотительной способности почв, что справедливо для загрязняющих веществ любой природы, на биотической и абиотической деструкции, что справедливо для органических поллютантов).

Показатель критической нагрузки можно получить разными способами: а) экспериментально (при полевых наблюдениях, в лабораторных опытах), определив параметры всех процессов, влияющих на поведение исследуемых веществ в данных почвах или привлекая необходимые сведения из различных источников; б) используя существующие программы, предназначенные для вычисления критических нагрузок конкретных загрязняющих веществ по вышеназванным показателям; в) по критическому содержанию исследуемых веществ в продуктах растениеводства, выращенных на данных почвах; г) опираясь на ПДК химических веществ в почвах, переводя их величины из мг/кг массы вещества в кг/га площади исследуемых почв (Овчинникова, 2003).

Ориентировочный показатель экологического риска для почв можно найти как отношение общей химической

нагрузки на почвенный покров к критической нагрузке этих веществ на эту же территорию.

Уровни показателя экологического риска загрязнения почв измеряются величинами, превышающими единицу. Они могут быть классифицированы. Один из примеров такой классификации приведен в таблице 10.9.

Таблица 10.9

**Классификация риска загрязнения почв  
(по Овчинниковой, 2003)**

| Интегральный показатель риска $R_j$ | Категория риска    | Вероятность наступления негативных событий | Опасность загрязнения почв |
|-------------------------------------|--------------------|--|----------------------------|
| $R_j < 1$                           | Незначительный     | $\rightarrow 0$                            | Отсутствует                |
| $R_j = 1 - 10$                      | Условно допустимый | 0,1  | Незначительная             |
| $R_j = 10 - 30$                     | Условно допустимый | 0,2  | Очень низкая               |
| $R_j = 30 - 70$                     | Условно допустимый | 0,3  | Низкая                     |
| $R_j = 70 - 100$                    | Недопустимый       | 0,4  | Умеренная                  |
| $R_j = 100 - 250$                   | Недопустимый       | 0,5  | Умеренно высокая           |
| $R_j = 250 - 500$                   | Недопустимый       | 0,6  | Высокая                    |
| $R_j = 500 - 800$                   | Недопустимый       | 0,7  | Экстремальная              |
| $R_j = 800 - 1000$                  | Недопустимый       | 0,7 - 0,9                                  | Предкризисная              |
| $R_j > 1000$                        | Недопустимый       | 0,9 - 1                                    | Кризисная                  |

Нормирование на основе концепции экологического риска имеет прямой выход в практику, так как позволяет учитывать опасность загрязнения почвы при расчете кадастровой стоимости, при этом чем выше риск загрязнения земель, тем ниже ее стоимость.

#### **Экосистемное нормирование**

В настоящее время в подходах к нормированию содержания химических элементов в почвах все большее распространение получает экосистемная направленность.

Начало экосистемному нормированию положено работами по экологической экспертизе, основной задачей которой была оценка конкретного вида техногенного воздействия на состояние окружающей среды в конкретном регионе.

Современная концепция экологического нормирования опирается на экосистемный подход. В этой концепции нет места представлениям о предельно допустимых количествах, о пороговости в изменении состояния организмов. В экосистеме порогов нет. Рассматривается беспороговая модель. Главным является тезис о том, что нормальным состояние экосистемы может быть только при сохранении целостности экосистемы, при обеспеченности сохранности биогеохимических циклов всех химических элементов в экосистеме.

Экосистема — это сложноорганизованная система, которую можно представить как сочетание плотно упакованных экологических ниш. При поражении одних организмов, при снижении активности их деятельности освободившиеся ниши заполняются более толерантными видами. Это ведет к сглаживанию эффекта воздействия, к снятию порогов.

Экосистемное нормирование не допускает не только патологических, но и предпатологических изменений. Цель экосистемного нормирования состоит в том, чтобы сохранить природу в таком состоянии, когда все живые организмы имеют равное право на существование. Такой подход обеспечит сохранение и человека (популяции, индивидуума) как компонента экосистемы. Человек отличается от других организмов, в частности, тем, что является конечным консументом в большинстве трофических цепей. Задача состоит в том, чтобы проверить, сохраняется ли уровень содержания этого вещества при любом антропогенном воздействии на экосистемы в пределах флуктуации его содержания в естественных природных условиях или выходит за эти пределы.

Теория экосистемного нормирования последовательна, но методы ее окончательно не разработаны. Не разработаны понятия о существенных и несущественных изменениях в экосистеме. Некоторые из предложений только обсуждаются.

Для выявления максимально допустимого воздействия на экосистему нужно прежде всего среди всех воздействий выявить то, которое оказывает наиболее сильное негативное действие на экосистему. Таким воздействием, как правило, является химическое загрязнение.

Требуется учитывать все силы в экосистеме, которые способны компенсировать внешнее техногенное воздействие на нее. При оценке его влияния применяется принцип «слабого звена». Он основан на представлениях о лимитирующих факторах в сложной системе. Следует уделить внимание тому виду воздействия, которое может лимитировать развитие экосистемы. Это значит, что нагрузки, допустимые для самого уязвимого компонента экосистемы, принимаются как допустимые для системы в целом. Но экологические нормативы должны быть дифференцированы, что достигается региональным или бассейновым подходом при получении его показателей.

При экосистемном подходе нужно принимать во внимание не только токсическое действие химического вещества. Следует оценивать и другие возможные виды нарушения экосистемы, такие как сокращение видового разнообразия, изменение отдельных групп биоты, выпадение из экосистемы видов — доминантов, изменение величины продуктивности, упрощение трофической цепи, уменьшение ассимиляционной емкости экосистемы и ее способности к самоочищению, разрушение экосистемы.

Под ассимиляционной емкостью понимается количество поллютанта, которое система способна воспринять (ассимилировать) без нарушения закономерностей ее функционирования. При ее расчете принимаются во внимание все потоки вещества: его поступление из разных источников, вынос за пределы системы, сорбция почвенными компонентами, перевод в нерастворимые формы, биотическая и абиотическая деструкция и др. Допускается использование как расчетных, так и экспериментальных (в том числе лабораторных) данных, экстраполяция и интерполяция результатов, полученных для близких по структуре и функционированию экосистем. Важно включение не только биогенных, но и абиогенных показателей (например, гидрхимических).

Выбор показателей, контроль которых проводится при экосистемном нормировании, зависит от того, на каком уровне организации экосистемы оцениваются изменения. Например, предлагается в качестве критериев экологического состояния экосистемы использовать показатели сохранности вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, показатели завершенности круговорота веществ (конечным результатом чего является плодородие почв).



В качестве показателя сохранности экосистемы можно использовать баланс гумуса в почве. При этом предлагается считать нагрузки на экосистемы допустимыми, если в почве поддерживается положительный баланс гумуса, что свидетельствует о выполнении почвами их функций в биосфере. Есть предложение признаком нарушения в сохранности и целостности экосистемы считать накопление в зоне техногенного воздействия на биогеоценоз неразложившейся подстилки, что может свидетельствовать о незавершенности круговорота углерода.

## 10.2. Агрохимический мониторинг почв

Контроль обеспеченности почв питательными элементами для растений составляет задачу агрохимического мониторинга. Единая государственная агрохимическая служба была создана в нашей стране в 1964 году. Она входила в систему агрономического обслуживания сельскохозяйственных предприятий и имела многочисленные функции. За короткий срок было создано 197 зональных агрохимических лабораторий, представлявших собой научно-производственные учреждения, оснащенные необходимым оборудованием для полевых и лабораторных исследований, картографических работ, постановки полевых опытов с удобрениями, контроля качества урожая и т. д. В их компетенции было проведение регулярного агрохимического обследования земель колхозов и совхозов, разработка рекомендаций по рациональному применению удобрений, т. е. фактически это было плановое проведение мониторинговых исследований.

В настоящее время эта служба преобразована и на основе зональных агрохимических лабораторий созданы государственные центры агрохимической службы. Эти организации проводят контроль обеспеченности почв подвижными формами азота, фосфора и калия, микроэлементами, мониторинг гумусного состояния.

Для целей агрохимического мониторинга были разработаны, апробированы и унифицированы методы определения содержания элементов питания в почве. Большинство этих методов зарегистрировано в форме государственных стандартов (ГОСТов), что позволило получать сравнимые результаты.

Методы определения показателей отдельных свойств дифференцированы для почв разных типов. Например, содержание подвижного фосфора определяется одним из

трех методов: Кирсанова (для кислых почв, ГОСТ 26207), Чирикова (для дерново-подзолистых и серых лесных почв, некарбонатных черноземов, ГОСТ 26204), Мачигина (для карбонатных почв, ГОСТ 26205). Так как оценка плодородия почв проводится на основе их комплексной характеристики, то сведения о содержании подвижных соединений элементов питания дополняются данными об их общем содержании в почве. На основе полученных результатов проводится оценка почв по содержанию основных элементов питания — азота, фосфора и калия (табл. 10.10 — 10.13). С учетом группировки по содержанию подвижных форм азота, фосфора и калия составляются картограммы обеспеченности почв элементами питания, которые служат основой для рациональной корректировки уровня эффективного плодородия внесением удобрений.

Таблица 10.10

**Оценка потенциального плодородия почв  
по общему содержанию азота, фосфора и калия, %**

| Уровень содержания | Азот (N)    | Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | Калий (K <sub>2</sub> O) |
|--------------------|-------------|---|--------------------------|
| Очень высокий      | Более 0,35  | Более 0,20                              | Более 3,0                |
| Высокий            | 0,35 — 0,25 | 0,20 — 0,15                             | 3,0 — 2,0                |
| Средний            | 0,25 — 0,10 | 0,15 — 0,08                             | 2,0 — 1,0                |
| Низкий             | 0,10 — 0,05 | 0,08 — 0,02                             | 1,0 — 0,7                |
| Очень низкий       | Менее 0,05  | Менее 0,02                              | Менее 0,7                |

Важным этапом агрохимического мониторинга является выполнение балансовых расчетов с учетом выноса химических элементов с урожаем. На основе этого рассчитываются дозы минеральных и органических удобрений для восполнения выноса элементов питания растений и поддержки эффективного плодородия почв на необходимом уровне.

Таблица 10.11

**Оценка эффективного плодородия почв по содержанию легкогидролизуемого азота (NO<sub>2</sub>), мг на 100 г почвы**

| Группа почв | Уровень содержания | Метод определения |          |
|-------------|--------------------|-------------------|----------|
|             |                    | Тюриня-Кононовой  | Корнфила |
| I           | Очень высокий      | Более 10          | —        |

Окончание табл. 10.11

|     |              |           |             |
|-----|--------------|-----------|-------------|
| II  | Высокий      | 10 – 7,0  | –           |
| III | Повышенный   | 7,0 – 5,0 | Более 20    |
| IV  | Средний      | 5,0 – 4,0 | 20,0 – 15,0 |
| V   | Низкий       | 4,0 – 3,0 | 15,0 – 10,0 |
| VI  | Очень низкий | Менее 3,0 | Менее 10    |

Таблица 10.12

Оценка эффективного плодородия почв по содержанию подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ), мг на 100 г почвы

| Группа почв | Уровень содержания | Метод определения |             |           |
|-------------|--------------------|-------------------|-------------|-----------|
|             |                    | Кирсанова         | Чирикова    | Мачигина  |
| I           | Очень высокий      | Более 25,0        | Более 20,0  | Более 6,0 |
| II          | Высокий            | 25,0 – 15,0       | 20,0 – 15,0 | 6,0 – 4,5 |
| III         | Повышенный         | 15,0 – 10,0       | 15,0 – 10,0 | 4,5 – 3,0 |
| IV          | Средний            | 10,0 – 5,0        | 10,0 – 5,0  | 3,0 – 1,5 |
| V           | Низкий             | 5,0 – 2,5         | 5,0 – 2,0   | 1,5 – 1,0 |
| VI          | Очень низкий       | Менее 2,5         | Менее 2,0   | Менее 1,0 |

Таблица 10.13

Оценка эффективного плодородия почв по содержанию обменного калия ( $K_2O$ ), мг на 100 г почвы

| Группа почв | Уровень содержания | Метод определения |             |             |             |
|-------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
|             |                    | Масло-вой         | Чирикова    | Мачигина    | Кирсанова   |
| I           | Очень высокий      | Более 30,0        | Более 18,0  | Более 30,0  | Более 25,0  |
| II          | Высокий            | 30,0 – 20,0       | 18,0 – 12,0 | 30,0 – 20,0 | 25,0 – 17,0 |
| III         | Повышенный         | 20,0 – 15,0       | 12,0 – 8,0  | 20,0 – 15,0 | 17,0 – 12,0 |
| IV          | Средний            | 15,0 – 10,0       | 8,0 – 5,0   | 15,0 – 10,0 | 12,0 – 8,0  |
| V           | Низкий             | 10,0 – 5,0        | 5,0 – 3,0   | 10,0 – 5,0  | 8,0 – 4,0   |
| VI          | Очень низкий       | Менее 5,0         | Менее 3,0   | Менее 5,0   | Менее 4,0   |

В последнее время ведется разработка многоэлементной диагностики минерального питания растений. Этот вид диагностики предполагает учитывать не только обеспеченность растений N, P, K, но и соотношение между основными элементами питания и микроэлементами, характеризующее сбалансированность элементов питания в почвенной среде. Агрохимический мониторинг включает и контроль гумусного состояния почв.

На современном этапе в задачи государственных центров агрохимической службы входит и оценка загрязнения пахотных земель тяжелыми металлами, в связи с чем параллельно с агрохимическим картированием проводится крупномасштабное картографирование почв с целью их эколого-токсикологической оценки на содержание тяжелых металлов, мышьяка и фтора. Оценка проводится в соответствии с уровнями ПДК и ОДК этих элементов для почв. Обследование земель с целью оценки загрязнения проводится с 1991 года в подразделениях агрохимслужбы.

Результаты показали, что в настоящее время в Российской Федерации в ряде регионов наблюдается загрязнение почв тяжелыми металлами. Установлено, что в пахотных почвах Астраханской, Брянской, Волгоградской, Воронежской, Иркутской, Калининградской, Костромской, Курганской, Ленинградской, Московской, Нижегородской, Оренбургской, Самарской, Свердловской, Сахалинской, Ульяновской областях, Республики Бурятия, Мордовии, Красноярского и Приморского краев наблюдается превышение ПДК по трем и более элементам. Загрязнение почв происходит преимущественно медью (3,8 % площадей имеют загрязнение выше ПДК), кобальтом (1,9 %), свинцом (1,7 %), кадмием и хромом (0,6 %).

В пахотных почвах Владимирской, Тверской, Ярославской, Кировской, Тамбовской, Ростовской, Пензенской, Саратовской, Омской, Томской, Тюменской, Читинской, Амурской областей РФ, Республики Тува, Кабардино-Балкарии, Татарстана, Калмыкии, Краснодарского края превышение ПДК металлов не обнаружено.

## **ГЛАВА 11**

# **ВИДЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

### **11.1. Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию**

Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию, имеет три взаимосвязанных направления: социально-экономический, санитарно-гигиенический и экологический. В этом есть отражение многогранной значимости явления, разнообразия принципов и методов контроля экологического состояния подобных экосистем, и оно свидетельствует о принципиальном различии получаемой при мониторинге информации.

Требование комплексности — основное при проведении этого вида мониторинга. Понимание динамики природных систем при опустынивании невозможно без контроля всех факторов, условий и результатов опустынивания. Воздействие на какой-либо из компонентов этой сложной динамической системы с разветвленной структурой взаимных связей может приводить к изменению всей системы в целом. Почва — основной регулятор энерго- и массопереноса в аридных системах, и организация почвенно-экологического мониторинга при опустынивании требует систематических наблюдений не только за процессами, ведущими к деградации собственно почв, но и за теми почвенными свойствами, процессами и режимами, которые регулируют состояние других компонентов ландшафта и могут свидетельствовать о его деградации. Необходима организация мониторинга всех показателей опустынивания: климатической, почвенной, растительной, гидрологической и геоморфологической. Этому требованию отвечает выбор индикаторов опустынивания.

#### **Индикаторы опустынивания**

Основным, базовым индикатором опустынивания может быть показатель снижения запасов (прироста) биомассы,

т. е. индикатор конечного результата. (Деградация и охрана почв, 2002.) Но он один не отражает все разнообразие причин и особенностей процессов, а они важны для принятия решений. Поэтому выделяют три группы индикаторов, из которых важнейшим являются почвенные.

Система индикаторов опустынивания предложена в 1978 году, в дальнейшем она была положена в основу международных схем индикации и мониторинга опустынивания. Индикаторами опустынивания служат наиболее информативные количественные и качественные показатели состояния природной среды, определение которых возможно провести доступными методами и может быть воспроизведено, а результаты могут быть контролируемыми.

В этой схеме выделяют три группы индикаторов опустынивания: почвенно-геохимические и гидрологические (физические), биологические и социальные. **Физические индикаторы опустынивания** (почвенно-геохимические и гидрологические): 1) количество пыльных и песчаных бурь и других неблагоприятных климатических процессов; 2) изменение дебита, глубины залегания и качества грунтовых вод; 3) степень и формы развития процессов эрозии и дефляции; 4) изменение стока паводковых вод и объема твердого стока; 5) изменение мощности почвы в корнеобитаемом слое и содержание в ней гумуса; 6) степень засоления и осолонцевания почвы; 7) образование различного рода корковых и панцирных покровов почв.

**Биологические индикаторы опустынивания.** Растительность: 1) соотношение климаксных и внедрившихся растительных видов; 2) соотношение ксерофильных и мезофильных видов; 3) степень проективного покрытия растениями поверхности почвы — густота растительного покрова; 4) биологическая продуктивность и урожай кормов. Животные: 1) основные виды; 2) поголовье домашнего скота; 3) численность животных; 4) структура популяций; 5) особенности размножения; 6) вторичная продукция.

**Социальные индикаторы опустынивания:** 1) системы землепользования (поливное земледелие, богарное земледелие, скотоводство, заготовка и вывоз сырья, туризм и т. д.); 2) структура расселения; 3) биологические параметры населения; 4) параметры социальных процессов.

При мониторинге опустынивания часто пользуются такими понятиями, как характер, скорость (темпы), степень и глубина опустынивания. Термин «характер опустынива-

ния» применяют для указания на ведущие причины опустынивания и вызываемые ими процессы опустынивания, что является основой для выделения типов опустынивания. Под **степенью опустынивания** подразумевают степень приближенности условий меняющейся природной среды к пустынным условиям. Термин **«глубина опустынивания»** отображает соотношение обратимых и необратимых изменений природной среды в результате опустынивания. Термином **«скорость (темпы) опустынивания»** обозначают изменение во времени различных индикаторов опустынивания.

При мониторинге опустынивания по предложенным индикаторам необходимо учитывать, что ни один из параметров, взятых в отдельности, не является специфическим, хотя и может сопровождать его в разных конкретных ситуациях и сочетаниях. Например, снижение биологической продуктивности, если оно сопряжено не с аридизацией суши, а является следствием временных засух, не может рассматриваться в качестве диагностического индикатора опустынивания. Необходим комплексный подход в использовании предложенных индикаторов.

Точно так же нет оснований ставить диагноз об опустынивании и на орошаемых почвах, даже если при этом идет деградация за счет засоления, осолонцевания и т. д. Опустынивание этих земель может произойти лишь после забрасывания или исключения их из орошаемого земледелия. Однако эти процессы могут стать причиной опустынивания в будущем и должны рассматриваться при мониторинге в связи с оценкой риска или потенциальной возможности опустынивания.

Подходы к количественному или качественному определению индикаторов, которые могут использоваться при мониторинге опустынивания, весьма разнообразны. Общая направленность этих подходов — взаимно увязать разнокачественные параметры, используемые при мониторинге опустынивания, таким образом, чтобы они давали возможность выяснить тенденции развития конкретного ландшафта. При этом различные параметры группируются в таблицы, служащие для оценки таких сторон опустынивания, как характер, степень, глубина, скорость, характеристики потенциальной опасности этого явления. В таблице 11.1 приведен пример таких построений по параметрам засоления почв.

Сходные таблицы для оценки современного состояния, темпов и вероятной опасности опустынивания разработаны по параметрам водной и ветровой эрозии, водного режима почв, по растительным индикаторам. Информационная база почвенно-экологического мониторинга опустынивания должна включать не только параметры, оценивающие состояние почв в процессе опустынивания, но и те почвенные параметры, которые позволяют контролировать риск и устойчивость почв и экосистем к опустыниванию.

Опасность опустынивания определяется в первую очередь общей засушливостью или аридностью климата территории. Устойчивость экосистем к опустыниванию связана с комплексом исходных условий опустынивания. Скорость и степень воздействия опустынивания на экосистемы засушливых территорий определяется балансом существующей на данный момент времени опасности и устойчивости к опустыниванию. В общем виде можно констатировать, что если суммарное воздействие действующих факторов и агентов опустынивания превышает устойчивость ландшафта, то наступает опустынивание, скорость и степень которого зависят от величины этого превышения.

Итак, для мониторинга ландшафтов, подверженных опустыниванию, необходима организация систематических наблюдений за всеми компонентами ландшафта. Детальные результаты могут быть получены при углубленных исследованиях отдельных составляющих опустынивания (климатической, почвенной, биологической, гидрологической, геоморфологической) и их совместном использовании.

По результатам мониторинга опустынивания, по данным дистанционного зондирования составлена карта опустынивания Российской Федерации в масштабе 1:2 500 000. На карте отражено, что на территории РФ наиболее распространены следующие антропогенные причины опустынивания: 1) подъем уровня грунтовых вод вследствие а) строительства водохозяйственных сооружений, б) длительного орошения земель; 2) орошение минерализованными водами; 3) геохимическая миграция солей к периферии орошаемых массивов; снижение геохимической отточности территории в результате заиливания русел; 4) иссушение поверхности, вызванное а) опусканием уровня грунтовых вод в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем, б) пастбищной дигрессией; 5) пастбищная дигрессия на почвах а) легкого и



Таблица 11.1

Оценка опустынивания по параметрам засоления (Рафиков, 1988; Харин, 1983)

| Аспект  | Критерий                                      | Класс опустынивания                       |   |                         |               |
|---|---|---|---|-------------------------|---------------|
|   |   | Слабое                                    | Умеренное                               | Сильное                 | Очень сильное |
| Современное состояние                         | Плотный остаток, %                            | 0,21 – 0,40                               | 0,41 – 0,60                             | 0,61 – 1,0              | >1,00         |
|   | Хлор, %                                       | 0,001 – 0,03                              | 0,03 – 0,10                             | 0,1 – 0,23              | >0,23         |
|   | Натрий, %                                     | 0,023 – 0,04                              | 0,04 – 0,092                            | 0,092 – 0,184           | >0,184        |
|   | Сумма токсичных солей, %                      | 0,28 – 0,40                               | 0,40 – 0,69                             | 0,40 – 0,69             | >0,69         |
|   | Расположение солевого горизонта в профиле, см | Ниже 80                                   | 30 – 80                                 |                         | Весь профиль  |
| Вероятная опасность опустынивания             | Химизм засоления                              | Cl-SO <sub>4</sub> , SO <sub>4</sub>      | SO <sub>4</sub> -Cl, Cl-SO <sub>4</sub> | SO <sub>4</sub> -Cl, Cl | Cl            |
|   | Аренированность грунтов зоны аэрации          | Средняя                                   | Слабая                                  | Низкая                  | Очень низкая  |
|   | Среднегодовая глубина грунтовых вод, см       | 500 – 300                                 | 300 – 100                               | 100 – 50                | <50           |
|   | Минерализация грунтовых вод, г/л              | 3 – 6                                     | 6 – 10                                  | 10 – 30                 | >30           |
|   | Темпы опустынивания                           | Увеличение площади опустынивания, % в год | <1                                      | 1 – 2                   | 2 – 5         |
| Сезонное накопление солей в слое 0 – 60 см, % |   | 0,11 – 0,20                               | 0,21 – 0,30                             | 0,31 – 0,60             | >0,60         |

б) тяжелого гранулометрического состава (при повышенном гидроморфизме); 6) распашка почв а) легкого гранулометрического состава, б) тяжелого гранулометрического состава (при повышенном гидроморфизме); 7) распашка солонцов и засоленных почв; 8) применение тяжелой техники на пахотных землях; 9) транспортные сбои в районах с густой сетью грунтовых дорог; 10) степные пожары; 11) сведение лесов; 12) техно- и урбогенные нарушения почвенного и растительного покрова.

Выявлены ведущие процессы опустынивания и отражены на карте опустынивания РФ: 1) водная эрозия, 2) формирование незакрепленных и развеваемых поверхностей, 3) засоление, 4) осолонцевание почв, 5) уплотнение почв, 6) подтопление, 7) снижение продуктивности естественной растительности (Деградация и охрана почв, 2002).

## 11.2. Оценка деградации почв пастбищ

Сельскохозяйственное освоение территорий включает земледельческое и скотоводческое направления. И то и другое имеют арсенал специфических приемов ведения хозяйства в горах. В земледелии — это проведение агротехнических противоэрозионных мероприятий, подбор культур с коротким периодом созревания. В скотоводстве — отгонная его форма с периодизацией выпаса на зимних и летних пастбищах. При этом в качестве летних пастбищ используются альпийские и субальпийские луга, где невозможно земледелие. В большинстве горных районов, особенно в высокогорье, преобладает скотоводческое (пастбищное) направление. Поэтому контроль состояния горных экосистем, находящихся под пастбищной нагрузкой, и их почвенного покрова — ведущего фактора их устойчивости — обязательный элемент контроля состояния природной среды в горных условиях.

Наличие дернины у почв и пастбищ и ее состояние — легко определяемый морфологический признак почв, поэтому его удобно использовать при оценке состояния почвенного покрова пастбищ. Так, для почвенного покрова пастбищ Центрального Кавказа Нинуа предложены следующие простые критерии, группирующие почвы по стадиям дигрессии.

1. Дернина в нормальном состоянии, нет механических повреждений, нет проявления эрозии.

2. Механические повреждения дернины, гумусовый горизонт местами оголен.
3. Остатки дернины занимают значительные площади, лишенная дернины часть почвы существенно эродирована.

Эти морфологические свойства почвы коррелируют с другими свойствами почвы, в частности от первой к третьей группе облегчается гранулометрический состав, изменяется плотность почв, содержание гумуса уменьшается от 12 до 4 %.

Физическая деградация почв устанавливается по изменению комплекса их свойств, вполне применимых и для горных пастбищ. Дополнительный, легко контролируемый морфологический признак для горных пастбищ — наличие и густота сети скотобойных троп, так называемая «тропинчатость». Скотобойные тропы способствуют формированию поверхностного стока и развитию водной эрозии. Кроме того, они резко снижают продуктивность пастбищ, исключая значительную часть почвенного покрова из сферы формирования биологической продукции. Зотов и др. предлагают в качестве диагностического признака состояния пастбищ использовать долю площади тропиной сети в общей площади пастбища (табл. 11.2).

Таблица 11.2

Состояние пастбищ в зависимости от их тропинчатости

| Состояние пастбищ   | Площадь скотобойных троп |
|---------------------|--------------------------|
| Слабо сбитые        | < 10                     |
| Средне сбитые       | 10—25                    |
| Сильно сбитые       | 25—50                    |
| Очень сильно сбитые | > 50                     |

В целом набор показателей почвенно-экологического мониторинга горных пастбищ следующий:

- видовой состав, запасы и структура фитомассы;
- проективное покрытие;
- наличие подстилки (степного войлока) и ее мощность;
- задернованность поверхности почвы;
- плотность почвы;
- структурное состояние почвы (содержание агрономически ценных агрегатов и их водопрочность);

- содержание, запасы и состав гумуса;
- содержание элементов питания (N, P, K);
- мощность гумусового горизонта;
- наличие линейных эрозионных форм и их размеры (см. приложение, табл. 1).

Контроль этих показателей следует проводить 1 раз в 3—5 лет, иногда чаще. При отсутствии организационных структур почвенно-экологического мониторинга в горах определение его показателей можно проводить при агрохимическом обследовании территории. Состав гумуса следует контролировать реже — 1 раз в 5—10 лет, также согласуя сроки с периодичностью агрохимического обследования.

### **11.3. Ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг**

Этот вид мониторинга направлен на контроль состояния орошаемых земель. Ирригационно-мелиоративный мониторинг возложен на государственную гидрогеолого-мелиоративную службу (ГГМС).

Основные задачи службы мелиоративного контроля следующие.

1. Оценка мелиоративного состояния орошаемых земель, эффективности мелиоративных мероприятий, достоверности почвенно-мелиоративных прогнозов и расчетов.
2. Прогноз направленности почвенно-мелиоративных процессов.
3. Разработка эксплуатационных, гидротехнических и других мелиоративных мероприятий, обеспечивающих устойчиво высокое плодородие почв.

Мониторинг орошаемых земель распространяется на земли независимо от характера их пользования и их правового режима и охватывает другие категории земель в границах мелиоративной системы или в зоне ее влияния. Ответственность за выполнение требований по ведению мониторинга орошаемых земель несут организации, осуществляющие мониторинг, органы управления сельским хозяйством, а также землепользователи и землевладельцы этих земель.

Ирригация земель приводит к изменению всего природного комплекса: рельефа, подземных, грунтовых, речных и коллекторно-дренажных вод, почв и растительности.

Наибольшее воздействие на орошаемых массивах на почву оказывает вода. Именно избыток воды и ее неудовлетворительное качество вызывают подъем уровня грунтовых вод, засоление, осолонцевание, подтопление и переувлажнение орошаемых и прилегающих к ним массивам. Поэтому ирригационно-мелиоративный мониторинг предполагает обязательное слежение за качеством оросительных и сбросных вод.

Особая ситуация складывается на рисовых полях. Специфика возделывания риса в условиях затопления нарушает гидрохимическое равновесие в системе почва — вода — соли, так как соли привносятся с оросительными водами, меняется тип водного режима. Это сопровождается подъемом УГВ, осолонцеванием, вымываются минеральные и органические вещества. Для прогнозирования этих процессов необходимо учитывать количественные закономерности формирования водного и солевого режимов, а также динамическое равновесие различных форм солей (растворенных в поровом растворе, сорбированных ППК).

Мониторинг состояния орошаемых земель, в том числе и рисовых, предполагает ведение постоянных наблюдений за режимом грунтовых вод, наличием солей в них и в поливной воде, а также в пахотном слое на чеках. Для обеспечения наблюдений необходима закладка скважин режимной сети, стационарных площадок, гидрохимических постов, организация лабораторий, оснащенных необходимым оборудованием для проведения анализов.

Методика по организации и ведению мониторинга орошаемых земель разработана по результатам многолетних исследований специалистами ГУ ЮжНИИГиМ (Скуратов и др., 2000).

Контроль качества оросительных и сбросных вод осуществляют по следующим параметрам: минерализация, рН, химический состав солей; содержание загрязняющих веществ (ТМ, пестициды, нитраты, радионуклиды).

Контроль состояния грунтовых вод ведется по следующим показателям: уровень грунтовых вод; минерализация, рН, химический состав солей; содержание загрязняющих веществ.

Важен выбор контролируемых показателей. Количество индикаторов должно быть необходимым и достаточным — их не должно быть слишком много (это необоснованно удорожает стоимость работ), но их должно

быть достаточно для выявления экологической опасности орошения.

Индикаторами ранней диагностики служат показатели: влажность в слое 0—100 см; щелочность почвы в слое 0—100 см; плотность почвы в пахотном и подпахотном слоях; пористость почвы в пахотном и подпахотном слоях; водно-солевой состав послойно (0—20, 20—40, 40—60 и т. д. вплоть до грунтовых вод); недоокисленные токсичные вещества в слое 0—100 см; содоустойчивость в слое 0—100 см.

При краткосрочном мониторинге список индикаторов пополняется рядом показателей: pH в слое 0—100 см; солонцеватость в слое 0—100 см; содержание доступных растениям элементов питания (легкогидролизуемый и нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий в слоях 0—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100 см). Часто показатели ранней диагностики рассматривают совместно с краскосрочными показателями.

Наиболее трудоемким является определение долгосрочных показателей: содержание, запасы и фракционно-групповой состав гумуса в слоях 0—20, 20—40, 40—60; структурное состояние в пахотном и подпахотном слоях; состав обменных оснований в слое 0—100 см; содержание карбонатов и гипса в слоях 0—20, 20—40, 40—60; минералогический состав в слоях 0—20, 20—40, 40—60.

На орошаемых территориях применяются повышенные нормы удобрений, пестициды, поэтому для контроля биологической активности почвы рекомендуют периодически определять нитрификационную способность почвы и общее число микроорганизмов.

Одним из основных показателей производительной способности почвы является урожайность сельскохозяйственных культур, сверяемая для каждого вида растений с соответствующим ГОСТом.

Государственная гидрогеолого-мелиоративная служба (ГГМС) организует проведение на орошаемых землях стационарных режимных наблюдений уровня грунтовых вод (3 раза в месяц), поддержание работы режимных скважин, периодически проводится солевая съемка, слежение за качеством оросительной воды.

Наблюдения за почвенным плодородием на орошаемых землях — прерогатива агрохимической службы. Мониторинг сводится к определению уровня обеспеченности питательными элементами, контролируется содержание обмен-

ного натрия (определение этого показателя ограничивается в последнее время). Этих исследований явно недостаточно для решения стоящих перед данными службами задач, и говорить о полноценном мониторинге не приходится. Агротехслужба должна существенно расширить набор контролируемых показателей (табл. 11.3).

Каждая оросительная система должна иметь определенное количество водно-балансовых станций и водно-солевых стационаров, основная задача которых — детальное изучение процессов формирования гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий, особенностей сезонного, годового, многолетнего режима уровня и химического состава грунтовых вод в увязке с солевым режимом почвогрунтов в зоне аэрации. Мониторинг почвенных свойств необходимо проводить на экспериментальных участках (полигонах мониторинга), характеризующихся наиболее типичными мелиоративными и почвенными условиями. Там, где эволюция почвенных и гидрогеологических показателей протекает в ускоренном темпе, полигоны мониторинга рекомендуется размещать на участках с более сложными мелиоративными условиями.

Там же, где изменение почвенно-гидрологических характеристик проходит медленно, следует выбирать для полигонов участки со средними мелиоративными условиями.

Так как почвенный покров неоднороден по своим свойствам в пространстве, для получения достоверных данных необходимо учитывать пространственное варьирование определяемых показателей. Для оценки полученной информации разработан классификатор, в котором даны критерии мониторинга орошаемых земель.

Для примера приводим результаты контроля солевого режима на рисовых чеках АО «Черноерковское» Славянского района Краснодарского края (Сафронова, 2005). Почва — лугово-болотная глинистая (рис. 11.1).

В слое 0—30 см наблюдаются наибольшие изменения запаса солей, так как именно через этот слой проходит наибольшее количество влаги при поливном режиме или почвенного раствора в случае выпотного режима на поверхности. Природными факторами солевого режима засоленных почв являются атмосферные осадки, вызывающие нисходящие потоки почвенной влаги, а также испарение и транспирация грунтовых вод, обуславливающие восходящие токи растворов.

Таблица 11.3

Показатели почвенного плодородия и периодичность их определения в ходе ведения мониторинга орошаемых земель (Скуратов, 2000)

| Показатель                        | Метод определения         | Порядок опробования |            | Служба   |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------|------------|----------|
|                                   |                           | Периодичность       | Глубина, м |          |
| 1                                 | 2                         | 3                   | 4          | 5        |
| <b>Водно-физические свойства</b>  |                           |                     |            |          |
| Структурно-агрегатный состав      | По Саввинову              | Ежегодно            | 0,6        | АС       |
| Плотность скелета почв            | По Качинскому             |                     | 1,0        | ГГМС, АС |
| Гранулометрический состав         | По Качинскому             | 1 раз в 5 лет       | 3          | АС       |
| Микроагрегатный состав            | По Качинскому             |                     | 0,6        |          |
| Коэффициент дисперсности          | Расчетный                 |                     | 1          |          |
| Порозность                        | Расчетный                 | Ежегодно            | 1          |          |
| Плотность твердых фаз             | Пикнометрический          | 1 раз в 5 лет       | 2          | АС       |
| Водопроницаемость                 | По Качинскому             |                     | 0,6        |          |
| Наименьшая полевая влагоемкость   | Метод заливаемых площадок |                     | 1          | ГГМС     |
| Влажность                         | Термост.-весовой          | 4–5 раз в год       | 1          |          |
| <b>Физико-химические свойства</b> |                           |                     |            |          |
| Водная вытяжка                    | Общепринятая              | 2 раза в год        | 3          | ГГМС     |
| Состав ППК                        |                           |                     | 3          | АС       |
| Содоустойчивость                  | По Бобкову                |                     | 1          |          |



Окончание табл. 11.3

| 1   | 2                            | 3                          | 4   | 5    |
|---|------------------------------|----------------------------|-----|------|
| Гипс  | Общепринятая                 | 1 раз в 5 лет              | 0,6 | АС   |
| Карбонаты   | По Голубеву                  |                            | 0,6 |      |
| Минералогический состав                                     | По Голубеву                  |                            | 0,6 |      |
| Загрязнение почв тяжелыми металлами                         | Общепринятые методы          |                            | 0,6 |      |
| Агрохимические свойства                                     |                              |                            |     |      |
| Гумус, %  | По Тюрину                    | Ежегодно                   | 1   | АС   |
| Фракционно-групповой состав гумуса                          | По Пономаревой – Плотниковой |                            | 1   |      |
| Легкогидролиземый состав                                    | По Тюрину – Кононовой        | 2 раза в год               | 1   |      |
| Подвижный фосфор, калий                                     | Общепринятая методика        | По фазам развития растений | 1   |      |
| Недоокисленные вещества                                     | По Бобкову                   |                            | 0,4 |      |
| Качество оросительных, грунтовых, коллекторно-дренажных вод |                              |                            |     |      |
| Минерализация и химический состав                           | Общепринятая методика        | 2 – 3 раза в год           | –   | ГГМС |
| Уровень грунтовых вод                                       |                              |                            | –   |      |
| Отточность дренажных вод                                    |                              |                            | –   |      |
| Загрязнение вод   |                              |                            | –   |      |
| Наблюдения за растениями                                    |                              |                            |     |      |
| Учет урожая   | Общепринятая методика        | Опт. сроки                 | –   | АС   |
| Загрязнение продукции                                       |                              | При необх.                 | –   |      |

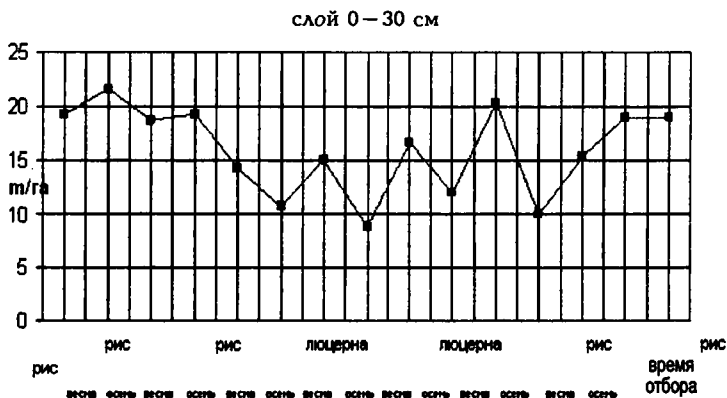


Рис. 11.1. Результаты наблюдений по запасам солей на стационарной площадке № 23, слой 0–30 см (данные КГМГУ)

Рассоление почв вызывается нисходящими токами почвенных растворов, когда сумма и концентрация солей в корнеобитаемых и особенно в пахотных горизонтах сильно уменьшается.

Для оценки типа солевого режима можно использовать коэффициент сезонной аккумуляции, или коэффициент выноса солей (КВС) (Сафронова, 2005). КВС рассчитывается как частное от деления разности показателей весеннего и осеннего содержания легкорастворимых солей в определенном слое почвы на содержание солей весной:

$$КВС_{\text{сезон}} = \frac{\sum_{\text{весн.}} - \sum_{\text{осень}}}{\sum_{\text{весн.}}}$$

КВС дает возможность оценить, произошло ли (и в каком размере) в течение вегетационного периода увеличение запаса солей в тех или иных частях почвенного профиля.

В зависимости от комплекса природных и хозяйственных условий, климата, глубины залегания и степени минерализации грунтовых вод, свойств поливной воды, качества обработки почвы годовой цикл солевого режима приводит к различным конечным результатам. Если размер сезонного засоления почвы приблизительно равен сезонному рассолению, то запас солей в почве из года в год не увеличивается (обратимый тип солевого режима). Если сезонное засоление

превышает сезонное рассоление, то запас солей в ней из года в год возрастает (необратимое засоление).

#### 11.4. Интегральная оценка степени деградации почв

Такая оценка может быть эффективна, когда почвы подвержены не одному, а нескольким видам деградации. Становится необходимо оценить направление деградации почв, интенсивность деградационных процессов и их скорость.

Интегральный показатель степени деградации почвы отражает информацию о глубине (силе) одного или нескольких видов деградации и времени (скорости) ее (их) действия.

Под скоростью деградации понимается ухудшение свойств почвы в единицу времени. В целях унификации для всех показателей скорость деградации можно было бы выразить скоростью перехода почвы из одной степени деградации в другую по рассматриваемому показателю. Однако шкалы для установления деградации физических, химических и биологических свойств почвы неравномерные, и поэтому определенная таким образом скорость деградации будет различной при разной степени деградации. Поэтому в качестве характеристики скорости деградации используют величину «период деградации». Под периодом деградации понимают гипотетическое время (в годах), за которое анализируемая почва пройдет путь от 0 до максимальной степени деградации по рассматриваемому показателю. Период деградации, таким образом, есть величина, обратная скорости деградации.

Период деградации рассчитывают по формуле:

$$T_d = X_{max} \times \Delta T / (X_1 - X_2),$$

где  $T_d$  — период деградации (в годах),  $X_{max}$  — значение критерия деградации, соответствующее максимальному баллу.  $\Delta T$  — временной промежуток между двумя обследованиями (в годах),  $X_1$  и  $X_2$  — значения критерия деградации соответственно при последнем обследовании и предыдущем.

Период деградации следует рассчитывать по данным за несколько лет наблюдений. Его величина может иметь отрицательное значение. В таком случае речь идет не о деградации, а об улучшении почвы за соответствующий период по рассматриваемому показателю.

Таким образом, период деградации может дать примерный прогноз изменения свойств почвы на ближайшее

будущее при условии сохранения направления и темпов современных почвенных процессов. Например, почва получившая по лимитирующему, т. е. имеющему максимальную балльную оценку, показатель степени деградации 3 балла, при периоде деградации 10 лет имеет перспективы через два года перейти из состояния сильно деградированной почвы в очень сильно деградированную.

Необходимо проводить определение периода деградации почвы не только по лимитирующему показателю, но и по всем другим, так как лимитирующий показатель с течением времени может измениться.

Интегральная оценка степени деградации почвы должна включать показатель, по которому устанавливается деградация, балл деградации и в качестве индекса (степени) к нему период деградации. Установление степени деградации возможно по любой шкале разработанных показателей: деградации физических, химических, биологических свойств почв. При наличии двух или более видов деградации установление степени деградации почвы проводится по показателю, имеющему максимальный уровень деградации. При итоговой оценке степени деградации почвы следует указывать наряду со степенью деградации процесс (или процессы), обуславливающие максимальную балльную оценку, и показатель скорости процесса, а также процесс, обеспечивающий максимальную скорость деградации.

Пример определения интегральной оценки степени деградации почв. При оценке физической деградации исследуемая почва получила максимальный балл деградации по показателю плотности почв, равный 3, период этого вида деградации составил 20 лет. При оценке загрязнения почва получила максимальный балл деградации 2 при периоде деградации 5 лет. Интегральная оценка степени деградации почв записывается так:  $3^{20}$  (физическая деградация) и  $2^5$  (химическое загрязнение). Интегральная оценка состояния почвы: сильнодеградированная почва с тенденцией увеличения плотности и среднедеградированная под влиянием химического загрязнения. Но загрязнение прогрессирует, и через 1–3 года степень деградации химических свойств почв будет сравнима с деградацией физических свойств и потому уже сейчас необходима разработка системы мероприятий по предотвращению поступления в почву загрязняющих веществ.

## **ГЛАВА 12**

# **ВИДЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЧВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

### **12.1. Мониторинг микробиологического состояния почв**

Как отмечено в главе 7, почвенный микробоценоз отражает различные виды деградации почв, и на этом основании показатели его состояния могут служить универсальными индикаторами состояния почв при почвенном мониторинге.

Микробиологические тесты позволяют за короткое время, даже при незначительных изменениях в окружающей среде, оценить отклонения в функционировании почвенной системы и потому могут служить показателями ранней диагностики степени деградации почв. Основных микробиологических тестов всего четыре (табл. 12.1).

Уровень активной микробной биомассы является информативным показателем общего состояния почвенной биоты. Определяется по методике, изложенной в работе «Экспериментальная экология», 1991. Степень деградации устанавливается по уменьшению уровня активной микробной биомассы по сравнению с контролем. Для недеградированной почвы допускается не более чем 5-кратное снижение, тогда как очень сильнодеградированная почва характеризуется более чем 100-кратным снижением активности микробной биомассы.

**Содержание патогенных форм микроорганизмов** характеризует биологическое загрязнение почвы. Определяется по стандартной методике (Мишустин и др., 1979). В норме их количество не превышает 1000 на 1 г почвы.

**Фитотоксичность почвы** является интегральным показателем состояния почвенной биоты. Зависит от суммарного загрязнения почвы, включая и почвоутомление. Определяют методом «почвенных пластинок» по снижению числа проросших семян и длины проростков по сравнению с

Таблица 12.1

## Показатели и критерии биологической деградации почв

| Показатель   | Степень деградации |         |         |          |       |
|--|--------------------|---------|---------|----------|-------|
|  | 0                  | 1       | 2       | 3        | 4     |
| Уровень активной микробной биомассы, кратность уменьшения по сравнению с контролем | <5                 | 5–10    | 10–50   | 50–100   | >100  |
| Количество патогенных микроорганизмов в одном грамме почвы                         | <103               | 103–104 | 104–105 | 105–106  | >106  |
| Фитотоксичность (снижение числа проростков и подавление их роста), кратность       | <1,1               | 1,1–1,2 | 1,2–1,4 | 1,4–2,0  | >2,0  |
| Генотоксичность (рост числа мутаций в сравнении с контролем), кратность            | <2                 | 2–10    | 10–100  | 100–1000 | >1000 |

контролем (Звягинцев и др., 1989; Евдокимова и др., 1984). Снижение числа проросших семян и длины проростков по сравнению с контролем в 1,1 раза допускается для недеградированной почвы. Если число проростков снизилось более чем в два раза, то почва очень сильно деградирована.

**Генотоксичность почвы** — показатель, с помощью которого определяют способность почвы влиять на структурно-функциональное состояние генетического аппарата почвенной биоты, включая микроорганизмы, растительность и почвенную фауну. Определяют по росту числа генных мутаций по сравнению с контролем. Оценивается в краткосрочных тестах (Фонштейн и др., 1977). В норме число мутаций в нарушенной почве не должно отличаться более чем в два раза по сравнению с контролем.

При высоком значении показателя скорости биологической деградации необходимо выявление вызывающих ее

причин, так как за исключением количества патогенных микроорганизмов все остальные параметры биологической деградации являются интегральными, обусловленными совокупным действием целого ряда причин.

Наибольшее распространение получили методы микробиологического тестирования для оценки состояния почв, подверженных загрязнению.

В ходе санитарно-гигиенического мониторинга оценка степени биологического загрязнения ведется по санитарно-бактериологическим, санитарно-паразитологическим и санитарно-энтомологическим показателям.

В загрязненной почве на фоне уменьшения аборигенных представителей почвенных микробоценозов и снижения ее биологической активности отмечается увеличение количества патогенных энтеробактерий и гельминтов, которые более устойчивы к химическому загрязнению почвы, чем представители естественных почвенных микробоценозов. Оценка санитарно-бактериологического состояния почвы обязательно проводится на объектах повышенного риска (детские сады, игровые площадки, зоны санитарной охраны).

Каждая почва характеризуется определенной обогащенностью микроорганизмами, и она может снижаться при разных видах воздействия на нее (табл. 12.2). При контроле микробиологического состояния почв проводится выявление реакции отдельных групп почвенных микроорганизмов на то или иное воздействие на разных уровнях их организации: особь, популяция, сообщество.

Для сообществ (комплексов) — один из основных показателей — изменение их видовой структуры. Показателями изменения могут быть общее число выделяемых видов (богатство видов), показатели их разнообразия, уровень доминирования. Наряду с изменением разнообразия может происходить изменение состава видов.

Слежение за изменением состава и структуры сообществ может проводиться как по отдельным таксономическим группам, так и для трофических групп почвенных микроорганизмов. Примером такого подхода является исследование крахмалразлагающего (амилолитического) микробного сообщества, или целлюлозоразлагающих микроорганизмов, или организмов, потребляющих легкодоступные органические вещества при изменении экологических условий. Выбор исследуемой трофической группы должен соответствовать специфике исследуемого биоценоза и ос-

Таблица 12.2

Оценка степени обогащенности почв микроорганизмами,  
люминесцентно-микроскопический метод  
(по Звягинцеву, 1978)

| Степень обогащенности почв | Бактерии         |                      |                | Микроскопические грибы |                   |                |
|----------------------------|------------------|----------------------|----------------|------------------------|-------------------|----------------|
|                            | Общее количество |                      | Сухая биомасса | Длина гиф              |                   | Сухая биомасса |
|                            | млрд/г           | млрд/см <sup>2</sup> | кг/га          | м/г                    | м/см <sup>2</sup> | кг/га          |
| Очень бедная               | <1               | <50                  | <42            | <30                    | <750              | <120           |
| Бедная                     | 1-2              | 50-100               | 42-85          | 30-100                 | 750-2500          | 120-400        |
| Среднеобогатенная          | 2-5              | 100-200              | 85-170         | 100-300                | 2500-7500         | 400-1200       |
| Богатая                    | 5-10             | 200-400              | 170-340        | 300-1000               | 7500-25000        | 1200-4000      |
| Очень богатая              | >10              | >400                 | >340           | >1000                  | >25000            | >4000          |



новным изменениям трансформации органики под влиянием антропогенных факторов. Для того чтобы произошли неоднократно регистрируемые изменения состава сообществ вследствие исчезновения одних и появления других видов, необходимы существенные экологические сдвиги. Следовательно, раньше, чем для сообществ, изменения могут проявиться для его составляющих — популяций отдельных видов. Изменения популяций регистрируются задолго до исчезновения вида в сообществе. При популяционных исследованиях важен выбор исследуемых организмов. В первую очередь таковыми могут быть виды, развивающиеся в определенных экологических условиях — так называемые стенотопные виды, и виды — возможные аккумуляторы поллютантов.

Наряду с традиционными микробиологическими методами популяционного анализа (посев на питательные среды) весьма перспективно слежение за развитием микроорганизмов непосредственно в почве с использованием мембранных камер с внесенными в них популяциями микроорганизмов. При этом наиболее эффективно внесение видов с известными свойствами. Например, для оценки влияния кислых осадков — внесение видов организмов, высокочувствительных к изменению pH. Реакция популяций микроорганизмов (например, микроскопических грибов) на изменение экологических условий может проявляться в увеличении лаг-фазы, изменении уровня прорастания спор, репродукции, скорости роста мицелия, длительности отдельных стадий развития. На популяционном уровне изменения биоты могут наблюдаться при более низких уровнях воздействия. Например, такие изменения были зарегистрированы для стенотопного вида *Mortierella ramanniana* при загрязнении кадмием дерново-подзолистых почв ниже уровня ПДК, в то время как при оценке сообществ изменения прослеживаются при дозе загрязнения на порядок выше (Марфенина, 1991).

Информативным показателем биологического состояния почвы является ее ферментативная активность. Оценка степени обогащенности почвы ферментами дана в таблице 12.3.

Почва является самой богатой системой как по ферментативному пулу, так и ферментному разнообразию. Источниками почвенных ферментов служат растения, микроорганизмы, животные, словом, все живое вещество

Таблица 12.3

Оценка степени обогащенности почв ферментами,  
над чертой — на весовые единицы почвы, под чертой — на 1 см<sup>2</sup> поверхности почвы  
(по Звягинцеву, 1978)

| Степень обогащенности | Каталаза,<br>О <sub>2</sub> см <sup>3</sup> /г за<br>1 мин | Дегидрогеназа,<br>мг ТФФ на 10 г<br>за 24 часа | Инвертаза, мг<br>глюкозы на 1 г<br>за 24 часа | Уреаза, мг<br>NH <sub>3</sub> на 10 г<br>за 24 часа | Фосфатаза,<br>мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> на<br>10 г за 24 часа |
|-----------------------|--|--|---|---|--|
| Очень бедная          | <1<br><25  | <1<br><2,5                                     | <5<br><125                                    | <3<br><7,5  | <0,5<br><1,2   |
| Бедная                | 1-3<br>25-75   | 1-3<br>2,5-7,5                                 | 5-15<br>125-375                               | 3-10<br>7,5-25                                      | 0,5-1,5<br>1,2-3,8   |
| Среднеобогатенная     | 3-10<br>75-250   | 3-10<br>7,5-25                                 | 15-50<br>375-1250                             | 10-30<br>25-75                                      | 1,5-5,0<br>3,8-12,5  |
| Богатая               | 10-30<br>250-750   | 10-30<br>25-75                                 | 50-150<br>1250-3750                           | 30-100<br>75-250                                    | 5-15<br>12,5-38,0  |
| Очень богатая         | >30<br>>750  | >30<br>>75                                     | >150<br>>3750                                 | >100<br>>250  | >15<br>>38   |

почвы. Роль ферментов в почвенных процессах трудно переоценить, ведь они являются катализаторами биохимических превращений органических остатков и гумуса и тем самым участвуют в биохимических циклах углерода, азота, фосфора, серы и других элементов.

Обогащенность ферментами в значительной степени определяется генетическим типом почвы, при этом в верхних биогенных горизонтах активность ферментов максимальна, а вниз по профилю — в большинстве случаев снижается.

Деградация почвы сопровождается снижением ее биологической активности, и ферменты, как показали многочисленные исследования, являются надежным индикатором этого явления (табл. 12.4). При этом ферменты проявляют специфическую реакцию на тот или иной вид деградации почвы. Так, загрязнение почвы ТМ, нефтепродуктами в значительной степени снижает активность каталазы, в то время как инвертаза и дегидрогеназа довольно слабо реагируют на нефтезагрязнение. В то же время инвертаза чувствительна к сельскохозяйственному использованию, а каталаза — нет.

Таблица 12.4

Оценка показателей ферментативной активности (в баллах)  
в целях диагностики состояния почв (по Даденко, 2004)

| Показатель | Вид антропогенного воздействия       | Чувствительность | Сложность анализа | Точность определения | Средний балл |
|------------|--------------------------------------|------------------|-------------------|----------------------|--------------|
| Каталаза   | Сельскохозяйственное использование   | 3                | 10                | 10                   | 9,2          |
|            | Загрязнение нефтью и нефтепродуктами | 9                | 10                | 9                    |              |
|            | Загрязнение ТМ                       | 8                | 10                | 8                    |              |
|            | СВЧ-излучение                        | 9                | 10                | 10                   |              |
|            | Ионизирующее излучение               | 9                | 10                | 10                   |              |
|            | Гидроморфизм                         | 10               | 10                | 9                    |              |

Окончание табл. 12.4

|                  |                                       |    |   |    |     |
|------------------|---------------------------------------|----|---|----|-----|
| Инвер-таза       | Сельскохозяй-ственное ис-пользование  | 10 | 6 | 9  | 6,8 |
|                  | Загрязнение нефтью и неф-тепродуктами | 3  | 6 | 6  |     |
|                  | Загрязнение ТМ                        | 8  | 6 | 6  |     |
|                  | СВЧ-излучение                         | 9  | 6 | 6  |     |
|                  | Ионизирующее излучение                | 9  | 6 | 7  |     |
|                  | Гидроморфизм                          | 8  | 6 | 6  |     |
| Дегид-ро-ге-наза | Сельскохозяй-ственное ис-пользование  | 10 | 7 | 9  | 7,6 |
|                  | Загрязнение нефтью и неф-тепродуктами | 2  | 7 | 8  |     |
|                  | Загрязнение ТМ                        | 10 | 7 | 9  |     |
|                  | Ионизирующее излучение                | 8  | 7 | 7  |     |
|                  | Гидроморфизм                          | 10 | 7 | 10 |     |

## 12.2. Мониторинг почв по их производительной способности (бонитировочный)

Бонитировка почв — сравнительная оценка качества почв по их производительной способности, это специализированная генетико-производственная классификация почв, плодородие которых выражено в балах.

Предлагались различные подходы и методы оценки качества почв (Гаврилюк, 1972):

1. Естественно-исторический метод, на основе подходов В.В. Докучаева. Баллы бонитета почв устанавливаются на основе тех их природных свойств, которые коррелируют с урожайностью ведущих сельскохозяйственных культур. Элементарной таксономической единицей при бонитировке таким методом является разновидность почв.

2. Вариант естественно-исторического метода, при использовании которого таксономической единицей является не почвенная разновидность, а агропроизводственная группа или подгруппа почв. Баллы бонитета почв устанавливаются также по природным свойствам почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Метод широко применяется на Украине.
3. При географическом подходе выявляется связь между урожайностью и типом местности. Баллы бонитета для различных типов местности устанавливаются по выходу сельскохозяйственной продукции. Метод разработан географами МГУ и Львовского университета.

В основу общей оценки почвенного плодородия положена оценка гумусного состояния, так как именно гумус является интегральным показателем плодородия почв. В качестве основных генетических показателей при разработке шкалы бонитета почв используются показатели (Гаврилюк, 1972):

- общая мощность горизонтов (A + B);
- запасы гумуса (т/га) во всей толще гумусовых горизонтов.

Эти индексы плодородия показали высокую информативность при оценке качества черноземов и каштановых почв Нижнего Дона и Северного Кавказа. Бонитировка этих почв осуществляется прежде всего применительно к потребностям зерновых культур, так как зерновое хозяйство составляет основу сельскохозяйственного производства региона.

Имеют значение выбранные критерии балльной оценки почв. При разработке рабочей оценочной шкалы для определения балла бонитета почв Ростовской области за 100 баллов (т. е. за эталон) были приняты признаки обыкновенного чернозема, в котором мощность гумусового горизонта  $A+B = 75$  см, запасы гумуса — 425 т/га, а урожайность — близка к средней урожайности зерновых культур на сортоучастках — 20 ц/га (Гаврилюк, 1974). Использовались и «разомкнутые» оценочные шкалы, где средней по качеству почве присваивается 100 баллов, почвам выше среднего качества — соответственно более 100 баллов и почвам ниже среднего качества — менее 100 баллов.

Эффективность этих показателей неодинакова для разных типов почв. В частности, в почвах, где гумуса содержится меньше (каштановая и чернозем южный), влияние его на почвенное плодородие выше, чем в почвах с боль-

шим содержанием гумуса. Это связано с особенностями качественного состава гумуса.

Содержания гумуса в пахотном слое дерново-подзолистых почвах показало надежную связь с величиной урожайности сельскохозяйственных культур.

Оценку деградации почвы по показателям ее гумусного состояния можно провести исходя из рекомендаций Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов России, по которым уменьшение гумусового слоя менее чем на 0,1 доли его мощности указывает на отсутствие деградации.

Однако эти рекомендации не содержат придержек по оценке деградации почвы при снижении гумусированности пахотного слоя без уменьшения мощности  $A+B$ . В то же время в условиях степной и сухостепной зон это явление широко распространено.

Деградацию можно характеризовать показателями интенсивности процессов деградации и их направления. Под скоростью деградации понимается ухудшение свойств почвы в единицу времени. В целях унификации для всех показателей скорость деградации можно было бы выразить скоростью перехода почвы из одной степени деградации в другую по любому рассматриваемому показателю.

Если имеются бонитировочные шкалы и многолетние материалы, накопленные в результате бонитировочных исследований, они могут быть эффективно использованы для оценки скорости изменения таких показателей, как мощность гумусового слоя и содержание гумуса в верхнем горизонте (табл. 12.5).

При этом учитывалась различная мощность гумусового слоя ( $A+B$ ) в разных подтипах черноземов, следовательно, и различная «цена» потерянных сантиметров этого слоя. Потеря (смыв) более 50 % мощности гумусового слоя приводит к необратимой утрате исходно плодородия этих почв и их необратимой деградации. Такое состояние почв соответствует крайней — четвертой степени деградации почв (диагностика по мощности гумусированного слоя).

При переводе деградационных потерь в балльную систему оценок необходимо учитывать различную исходную мощность ( $A+B$ ) изучаемых подтипов черноземов. Поэтому уже при первой степени деградации черноземы, изначально имеющие большую мощность гумусового слоя, «могут позволить себе» большую потерю в баллах и при этом

Таблица 12.5  
Показатели и критерии оценки степени деградации гумусного состояния черноземов  
(Безуглова, Бессчетнова, 2000)

| Показатель   | Почвы   | Степень деградации |       |       |       |     |
|--|---|--------------------|-------|-------|-------|-----|
|  |   | 0                  | 1     | 2     | 3     | 4   |
| Мощность (A + B),<br>убыль в см  | Черноземы южные<br>Черноземы обыкновенные<br>карбонатные:<br>северо-приазовские<br>предкавказские | <5                 | 5–15  | 15–20 | 20–30 | >30 |
|  |   | <10                | 10–20 | 20–30 | 30–45 | >45 |
|  |   | <15                | 15–25 | 25–45 | 45–65 | >65 |
| Бальная оценка,<br>убыль в баллах  | Черноземы южные<br>Черноземы обыкновенные<br>карбонатные:<br>северо-приазовские<br>предкавказские | <5                 | 5–10  | 10–15 | 15–25 | >25 |
|  |   | <5                 | 5–10  | 10–20 | 20–45 | >45 |
|  |   | <5                 | 5–15  | 15–25 | 25–50 | >50 |
| Содержание гумуса в<br>Апах, убыль в % к исход-<br>ному содержанию (неде-<br>градированный аналог) | Черноземы<br>(в среднем для типа)   | <5                 | 5–10  | 10–30 | 30–50 | >50 |

остаться в градации «слабая степень деградации». При очень сильной деградации потери мощности гумусового слоя в баллах в этом подтипе черноземов в 2 раза выше, чем в черноземах южных.

Для каштановых почв данная система оценки деградации гумусного состояния была разработана на основе тех же принципов. В качестве показателя деградации используется убыль гумуса в пахотном горизонте в процентах к исходному состоянию (табл. 12.6).

Таблица 12.6

Показатели и критерии оценки степени деградации гумусного состояния каштановых почв

| Показатель   | Почвы             | Степень деградации |       |        |         |     |
|--|-------------------|--------------------|-------|--------|---------|-----|
|  |                   | 0                  | 1     | 2      | 3       | 4   |
| Содержание гумуса в Апах, убыль в % к исходному состоянию (недеградированному аналогу) | Темно-каштановые  | <3,5               | 3,5–7 | 7–20   | 20–35   | >35 |
|  | Каштановые        | <3                 | 3–6   | 6–15   | 15–30   | >30 |
|  | Светло-каштановые | <2,5               | 2,5–5 | 5–13,5 | 13,5–25 | >25 |

Предложенный подход обоснован следующим: содержание гумуса в горизонте А каштановых почв Ростовской области составляет в среднем 2,4–2,2%. Уменьшение этого показателя на 30% приведет к тому, что горизонт А по содержанию гумуса будет соответствовать нижележащему горизонту В. Содержание гумуса 1,8–1,5% в пахотном слое свидетельствует о том, что почва подвержена эрозии, горизонт А полностью смыт и почва достигла крайней, четвертой, степени деградации. Эти же принципы использовались для разработки критериев оценки темно- и светло-каштановых почв.

Существуют и другие нормативы для оценки деградации почв, в которых не учитывается специфика гумусного состояния. Соответственно, и выводы, сделанные на их основе, будут иные. Для примера установим степень де-



градации почв, рассмотренных в предыдущем примере, в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке деградации почв» (Яковлев и др. 2001) (приложение, табл. 1) и сопоставим сделанные выводы.

По показателю «уменьшение запасов гумуса в профиле почвы» в «Методических указаниях...» предлагается 4-ю степень деградации диагностировать при уменьшении запасов гумуса на 80 % по сравнению с недеградированным аналогом. В обыкновенном черноземе, принятом за эталон, запас гумуса составляет 425 т/га. Данную почву можно будет перевести в разряд 4-й степени деградации при уменьшении запасов гумуса до 85 т/га. А светло-каштановая почва с запасом гумуса в  $A + B = 85$  т/га, будет переведена в 4-ю степень деградации только по достижении запаса гумуса в 17 т/га. Но если в первом случае в почве, вероятно, будет сохранен по крайней мере горизонт В2, то во втором случае при таких запасах гумуса речь может идти только о горизонтах ВС или С, так как в лессовидных суглинках на глубине одного метра гумуса содержится от 0,5–0,6 до 0,3–0,2 % гумуса, что обеспечивает запас гумуса в слое 0–20 см от 4 до 16 т/га. То есть при учете генетических особенностей оценки деградации почв получены более жесткие, чем без учета этих особенностей.

### **12.3. Дистанционный почвенный экологический мониторинг**

Дистанционный почвенный экологический мониторинг — контроль состояния почв с помощью дистанционных методов. Использование результатов съемки земной поверхности из космоса и аэрофотоснимков позволяет получать информацию с больших площадей. Для дистанционного обследования территории применяют также метод лазерного дистанционного зондирования (ЛДЗ). Установки ЛДЗ могут быть размещены на самолетах или вертолетах сельскохозяйственной авиации. В этом случае обеспечивается сбор информации с больших площадей за короткой промежуток времени, методы ЛДЗ обладают высокой чувствительностью и разрешением.

С помощью дистанционных методов можно осуществлять раннюю диагностику недостаточности элементов минерального питания в почвах; диагностику состояния растительности после обработки гербицидами; диагности-

ку недостаточности содержания влаги в почве; создавать карты текущего состояния почв (степени засоленности, кислотности в данном районе); выявлять различные виды деградации почв. Использование дистанционных методов дает возможность создавать широкомасштабные банки данных по состоянию почв, наблюдать динамику их изменения. Эффективно сочетание наземных и дистанционных наблюдений. Наземный мониторинг, включающий отбор почвенных проб и их анализ, может как предшествовать дистанционному наблюдению, так и следовать за ним в качестве уточняющего этапа.

Дистанционные методы анализа почв основаны на спектральной отражательной способности (СОС) почв — способности почв избирательно поглощать и отражать электромагнитные излучения определенных длин волн в зависимости от химического состава и физического строения поверхности. По изменению спектральных характеристик почв можно оценивать потерю гумуса и изменение его качественного состава, проследить процессы засоления, оподзоливания, развития эрозии и т. д.

Отражение света почвами зависит от их влажности, содержания гумуса, карбонатов, железа, солей, размера агрегатов (Орлов, Суханова, Розанова, 2001). Зависимость эта описывается простыми эмпирическими уравнениями. Для каждой из таких функций общий вид уравнения не зависит от типа почвы, но значения постоянных коэффициентов закономерно изменяются для почв разного генезиса в широких пределах. Таким образом, использование спектральных характеристик позволяет оперативно и объективно оценивать содержание различных красящих компонентов, а по изменению во времени их содержания можно судить о скорости и направлении многих почвенных процессов.

В системе наземного мониторинга для характеристики СОС используют спектральные коэффициенты отражения (СКО). *Спектральным коэффициентом отражения называют величину, равную отношению светового потока, рассеянного освещенной поверхностью почвы во всех направлениях, к световому потоку, падающему на эту поверхность в определенном интервале длин волн.* СКО определяют в лабораторных условиях на спектрофотометрах типа СФ-10, СФ-14, СФ-18 с применением интегрирующей сферы, где учитывается весь диффузно отраженный от объекта световой поток.

В системе дистанционного мониторинга используются спектральные коэффициенты яркости (СКЯ). *Спектральный коэффициент яркости равен отношению интенсивности потока излучения, отраженного поверхностью объекта в каком-либо направлении, к интенсивности потока, отраженного в том же направлении от идеально рассеивающей поверхности.* Измерение СКЯ проводят, как правило, с борта самолета, космического корабля, вышки или с руки полевыми спектрометрами. Промышленный выпуск таких приборов в нашей стране, к сожалению, пока не налажен, и исследователи пользуются авторскими экземплярами, изготовленными для каждой конкретной задачи.

Измерение СКЯ в полевых условиях связано с рядом особенностей, так как если в лабораторных условиях получение СКО зависит только от точности прибора, то в полевых условиях необходимо учитывать влияние внешних факторов: условия освещения, влажность почвы, степень обработки почвы и т. д. Поэтому для уменьшения погрешности приходится прибегать к увеличению объема выборки.

Наибольшее влияние гумуса на спектральные свойства почв проявляется в области длин волн 700—750 нм. Анализ большого набора почв, как современных, так и погребенных, показал, что связь между коэффициентом отражения света при 750 (700) нм и содержанием органического углерода выражается зависимостью, близкой к экспоненциальной. При высоком содержании гумуса окраска почв обусловлена практически только органическим веществом и мало меняется с увеличением его содержания. При уменьшении содержания гумуса отражение начинает быстро нарастать, приближаясь к отражательной способности породы. Такая связь для поверхностных горизонтов почв лесостепной и степной зон описывается функцией вида:

$$\rho = \rho_{\min} + (\rho_0 - 7\rho_{\min}) \times e^{-kH},$$

где  $\rho$  — коэффициент спектрального отражения почвы;  $\rho_0$  — то же для безгумусной почвообразующей породы;  $\rho_{\min}$  — то же для многогумусной почвы;  $H$  — содержание гумуса, %;  $k$  — константа. При анализе функции  $\rho$  от  $H$  при  $H=0$  величина  $\rho = \rho_0$ , при  $H > 10\%$  величина  $\rho = \rho_{\min}$  (Виноградов, 1988).

Большие отклонения от средних не позволяют в единичных образцах определять содержание органических веществ в почвах по величине коэффициентов отражения. Но при

дистанционных измерениях СКЯ прибор автоматически усредняет значения для больших площадей, что существенно снижает разброс данных и позволяет рекомендовать этот метод для мониторинговых исследований.

На закономерных изменениях СКО по почвенному профилю основана и оценка степени эродированности почв. Вспашка смытых и несмытых почв проводится обычно на одинаковую глубину, при этом наблюдается как бы разбавление верхнего слоя нижележащим горизонтом. Для почв с разной окраской горизонтов по результатам измерения СКО можно оценить степень припахивания нижележащих горизонтов.

Достоверно дешифрируется динамика структур почвенного покрова, связанная с антропогенными нарушениями его в результате водной и ветровой эрозии, вторичного засоления, заболачивания, изменений форм использования земель.

Для оценки загрязнения земной поверхности используются совместно черно-белые и цветные ИК — аэрофотоснимки. При этом выявляются нарушения растительного покрова, свалки, деградация лесов, деградация пастбищ. Дистанционные методы позволяют выявить зоны перевыпаса скота. На аэрофотоснимках прослеживаются все стадии пастбищной депрессии, удается оценить урожай пастбищных трав с точностью до 50 кг/га и учесть эту информацию. Сравнение изображений в разные годы позволяет выявить ареалы опустынивания и оценить скорости его развития.

Дистанционные наблюдения оказались полезными при выявлении ранних признаков засухи, при оценке интенсивности золовых процессов, динамики растительного покрова. Наиболее активно используется этот вид наблюдений при мониторинге опустынивания.

Характер кривых яркости позволяет диагностировать засоленные поверхности, различия во влажности, карбонатности почв, степени покрытия их растительностью. Дистанционные методы пригодны для получения информации о нефтяном загрязнении почв.

# ГЛОБАЛЬНЫЙ ПОЧВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Цель глобального мониторинга — контроль общепланетарного загрязнения биосферы. Объектами наблюдения являются биосферные заповедники, национальные станции глобального мониторинга. В бывшем СССР национальные станции глобального мониторинга располагались вблизи государственных границ. В настоящее время на территории РФ они действуют в Янискоски (Мурманская область), в Лесогорске (Ленинградская область), в Пинеге (Архангельская область), в Пушкинских Горах (Псковская область).

Результаты наблюдений обобщаются на международном уровне в соответствии с международными программами, так как контроль общепланетарного загрязнения не может проводиться разными странами изолированно. В рамках программы МАБ на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде 1972 года разработаны основные принципы Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС) и поставлена перед ООН задача организации международной системы мониторинга окружающей среды. В 1973 — 1974 годах в рамках Программы ЮНЕП (Программа ООН по проблемам окружающей среды) разработаны основные положения ГСМОС.

К 1975 году в ЮНЕП проведено усовершенствование списков загрязняющих веществ, разработаны рекомендации по формированию списка биосферных заповедников, созданию этих заповедников и размещению в них станций фонового мониторинга, намечены планы развития ГСМОС и разработана стратегия контроля состояния окружающей среды.

В 1979 году в Женеве на Европейском совещании по охране окружающей среды разработана Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха за счет переноса поллютантов на большие расстояния, на основе которой принимается и развивается Совместная программа наблю-

дений и оценки распространения загрязняющих веществ на большие расстояния в Европе (ЕМЕП). В ней участвуют 28 стран, кроме стран Европы в ней участвуют США и Канада. Целью ЕМЕП является предоставление правительствам разных стран информации о переносе в атмосфере загрязняющих веществ через границы государств и о вкладе этих веществ в загрязнение окружающей среды этих стран. В программе ЕМЕП содержится методики отбора проб, их анализа, сбора данных о выбросах загрязняющих веществ, построения математических моделей для оценки трансграничного переноса и проверки их соответствия экспериментальным данным.

В 1981 году в Финляндии подписана Конвенция о трансграничном переносе веществ. К ней присоединились страны Европейского экономического сообщества. Контролю переноса веществ на дальние расстояния в Европе и глобальной системе мониторинга окружающей среды посвящены программы ЕМЕП, ИРТАР, ПКМ.

Эффективность глобального мониторинга получила международное признание. Результаты его позволили обнаружить разрушение озонового слоя, определить масштабы трансграничного переноса веществ, выявить угрозу повышения содержания в атмосфере парниковых газов и глобального потепления. За этим последовало принятие ряда международных документов, обеспечивающих ограничение переноса поллютантов на большие расстояния, на основе которых принимается и развивается совместная программа наблюдений и оценки распространения загрязняющих веществ на большие расстояния в Европе. В 1986 году принята Венская конвенция об охране озонового слоя, в 1987-м Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. В 1991, 1994 годах ООН приняты конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте, направленные на снижение трансграничного переноса веществ, прежде всего оксидов серы (Финляндия).

В 1990 году Международный центр охраны природы, работающий в структуре ООН, предложил проект «Глобальный экологический мониторинг» с использованием военных спутниковых технологий. С 1992 года в этом проекте участвуют РФ, США, Украина, Казахстан, Литва, Китай.

Разработана координационная программа ЕЭС по охране окружающей среды, согласно которой в ряде стран в

90-е годы выполнялись национальные программы по охране окружающей среды.

Опыт работ по глобальному мониторингу показал, что глобальное (повсеместное) загрязнение почв металлами и металлоидами планете не угрожает. Об этом свидетельствует сопоставление общего содержания их в верхних слоях почвы и содержания подвижных соединений этих элементов с потоком их из атмосферы в одном из биосферных заповедников (табл. 13.1).

Таблица 13.1

**Показатели содержания металлов (Pb, Cd, Hg, Zn) и металлоидов (As) в верхнем слое (0–2 см) различных почв Сихотэ-Алинского биосферного заповедника**

| Элемент | Показатели общего содержания элементов |                     | Показатели содержания подвижных соединений элементов |                     |
|---------|--|---------------------|--|---------------------|
|         | Мг/кг                                  | Запас в слое 0–2 см | Мг/кг  | Запас в слое 0–2 см |
| As      | 4,3–7,3                                | 67–117              | 0,02–0,06  | 0,3–1,8             |
| Pb      | 9–41                                   | 114–610             | 3–6  | 48–96               |
| Cd      | 0,2–1,1                                | 3–18                | 0,05–0,10  | 0,8–1,6             |
| Hg      | 0,05–0,19                              | 1–3                 | 0,02–0,06  | 0,3–1,0             |
| Zn      | 56–156                                 | 900–2500            | 5–30   | 80–480              |

Ежегодный средний поток из атмосферы на почвы в районе Сихотэ-Алинского заповедника измеряются следующими величинами: Pb — 3,4; Cd — 0,3; Zn — 7,6; As — 0,6; Hg — 0,14 мг/м<sup>2</sup>. По сравнению с общим содержанием элементов в верхнем слое почвы этот поток несоизмеримо мал. Он более соизмерим с содержанием подвижных соединений контролируемых элементов в почвах заповедника, но основная часть поступающих с атмосферными выпадениями металлов и неметаллов удерживается почвенными компонентами прочно.

Экологическая опасность глобального масштаба связана с дальним переносом газов антропогенного происхождения, в частности диоксида серы. Например, выпадение диоксида серы на земную поверхность в Люксембурге, Нидерландах, Швейцарии за счет трансграничного переноса достигает 70–80 % от их общего выпадения, в Скандинавских странах — 54–63 %. Поступление серы в атмосферу России из соседних стран составляет не менее 40 % от общей техногенной нагрузки.

Международными программами планировалось к 1990 году по сравнению с 1980 годом снизить выбросы в атмосферу оксидов серы и азота на 60 %, взвешенных частиц — на 40 %, выхлопных газов автомобилей — на 50 %. В программе сформулированы требования к сжиганию топлива и коммунально-бытовых отходов, нормированы выбросы оксидов серы, азота. Создана сеть измерительных станций в зонах поступления повышенных количеств оксидов, предполагается регулярный отчет стран-участников о выполнении программы.

Тревогу экологов вызывает глобальное потепление климата. Это явление большинство ученых считают антропогенным и связывают с постоянно возрастающим сжиганием ископаемого топлива. Они считают, что необходимо ограничить выбросы парниковых газов и не допустить потепления более чем на 2 градуса.

Парниковый эффект вызывают любые газы, которые имеют полосы поглощения в инфракрасном диапазоне длин волн и практически не имеют их в видимой области света. Основной вклад в парниковый эффект вносит водяной пар. Существенно влияют имеющие промышленное происхождение диоксид углерода, закись азота и метан. Их содержание в атмосфере за индустриальную эпоху увеличилось соответственно на 30 %, 17 % и 150 %, особенно за последнее десятилетие. Влияют фреоны и их производные, их удельное поглощение в несколько тысяч раз выше, чем  $\text{CO}_2$ . В природе им аналогов нет, а производство в настоящее время сокращается. Кроме газов, на парниковый эффект влияют атмосферные аэрозоли.

Ограничению поступления в атмосферу парниковых газов посвящен Киотский протокол — международный документ, принятый в Японии в 1997 году в дополнение к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Киотский протокол — это первое глобальное соглашение об охране окружающей среды, основанное на рыночных механизмах регулирования — механизме международной торговли квотами на выбросы парниковых газов. Предусмотрено сокращение в период 2008 — 2012 годов совокупного среднего выброса странами, подписавшими протокол, шести типов газов, вызывающих парниковый эффект, на 5,2 % по сравнению с уровнем 1990 года. Страны Восточной Европы и Прибалтики должны сократить выбросы на 8 %, Россия и Украина — сохранить среднегодовые выбросы на уровне



1990 года. Только мониторинг состояния окружающей среды покажет, насколько будет эффективно это решение. Для вступления его в силу была необходима ратификация его государствами, на долю которых приходилось бы не менее 55 % общемировых выбросов парниковых газов.

В 2004 году Российская Федерация ратифицировала Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата, вступил он в силу в феврале 2005 года. Российские эксперты полагают, что ратификация этого документа не требует специальных усилий, закрытия предприятий или нарушения социальной инфраструктуры и не вызывает никаких отрицательных эффектов для текущих российских социальных и экологических проблем.

## ГЛАВА 14

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РФ

Обеспечение качества природной среды, влияющей на состояние здоровья населения, — задача государственного значения в Российской Федерации. Выполнение ее государством гарантируется Конституцией Российской Федерации (1993), Земельным кодексом РФ (1991), Водным кодексом РФ (1995), Лесным кодексом РФ (1997). Российское законодательство регламентирует проведение оценки воздействия на окружающую среду любых видов практической деятельности Федеральными законами «Об охране атмосферного воздуха» (1990), «Об охране окружающей природной среды» (1992), «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (1994), «Об особо охраняемых природных территориях» (1995), «Об экологической экспертизе» (1996), «О радиационной безопасности населения» (1996), «О недрах» (1992), «О мелиорации земель» (1996), «О землеустройстве» (2001), «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» (2001), «Об охране окружающей среды» (2002), а также Указами Президента Российской Федерации «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» (1994), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1991), «О федеральных природных ресурсах» (1993), «Об усилении государственного контроля за использованием и охраной земель при проведении земельной реформы» (1993), «О декларации безопасности промышленных объектов РФ» (1995).

Функции природоохранных служб регламентируются в десятках постановлений правительства и нормативных документов Министерства природных ресурсов, например, «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы», «Положение об оценке воздействия на окружающую среду в Российской

Федерации», «Руководство по экологической экспертизе предпроектной и проектной документации», «Инструкция по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности».

В нашей стране (в республике РСФСР бывшего Советского Союза) начало организации экологического мониторинга было положено в 1972 году постановлением Совета Министров СССР о создании Общегосударственной системы наблюдения и контроля состояния и уровня загрязнения природной среды (ОГКНСК). С 1978 года задача наблюдения, контроля и прогноза состояния окружающей среды была возложена на созданный в то время Госкомитет по метеорологии и контролю природной среды. В 1988 году он был преобразован в Госкомитет по охране природы. В настоящее время задача обеспечения качества природной среды и состояния природных ресурсов в Российской Федерации возлагается на Департамент по охране окружающей среды Министерства природных ресурсов (МПР РФ). Он действует в контакте с другим департаментом МПР — Департаментом по использованию природных ресурсов.

Задачи охраны природы выполняют также различные ведомства в соответствии со специфическим характером их деятельности: Гидромет, Минсельхоз, Росземкадастр, Минтранс, Минэнерго, Минобороны, Минатом, Минздрав, Минпромнауки, Госстрой, Госгортехнадзор, Госатомнадзор, Росавиакосмос, Рослесинфорг, Росгеолфонд, РАСХН, РАН.

В Российской Федерации (республике бывшего Советского Союза) контроль за состоянием окружающей среды начал проводиться в 30-е годы прошлого столетия и направлен был прежде всего на контроль состояния поверхностных вод, рек, водоемов, что было обусловлено актуальностью проблемы водопотребления. В 50-е годы на базе разветвленной сети Гидрометеослужбы СССР были организованы наблюдения за радиоактивным загрязнением природной среды в связи с испытанием ядерного оружия в воздухе, на земле и под землей. Контроль загрязнения атмосферы был начат в отдельных пунктах с 1963 года.

Первый этап организации контроля загрязнения всех природных сред относится к 1972 году, когда была создана Общегосударственная система наблюдения и контроля состояния и уровня загрязнения природной среды (ОГСНК). С 1994 года на базе ОГСНК сформирована Единая госу-

дарственная система экологического мониторинга России (ЕГСЭМ).

Цель ЕГСЭМ — выполнение государственной (национальной) задачи обеспечения безопасности и качества окружающей среды, разработка стратегии и тактики организации природоохранной службы, гарантирующей получение объективной информации о состоянии окружающей среды. Задачи ЕГСЭМ направлены на разработку и научно-техническое обоснование программы наблюдений, на создание организационных структур, обеспечивающих проведение единой политики в области защиты окружающей среды, создание подразделений, выполняющих природоохранные наблюдения, совершенствование организационного, правового, нормативного, информационного, программно-математического, финансового, аппаратурно-технического, метрологического, материально-технического обеспечения функционирования ЕГСЭМ.

Конкретные задачи ЕГСЭМ состоят в следующем:

- разработка единой научно-технической политики в области экологии, разработка программ наблюдений за состоянием окружающей среды;
- организация наблюдений за состоянием окружающей среды, что включает разработку перечня показателей физического, химического, биологического состояния окружающей среды, регулярное их измерение, оценку уровней полученных показателей, оценку их изменения во времени и в пространстве; все это в целом составляет научно-техническое обеспечение системы наблюдений за состоянием окружающей среды;
- обеспечение достоверности и сопоставимости данных наблюдений (обеспечение прецизионных средств измерения, что особенно важно, например, при загрязнении природной среды радиоактивными и сильно действующими отравляющими веществами при авариях, катастрофах);
- создание экологической информационной системы (обеспечение доступности интегрированной экологической информации о состоянии окружающей среды для разных потребителей, в том числе для населения и административного руководства различных ведомств);
- создание нормативной базы ЕГСЭМ;
- создание информационных связей между подсистемами ЕГСЭМ;

- организация хранения данных, создание специальных банков данных;
- гармонизация банков и баз данных экологической информации с международными эколого-информационными системами;
- выявление источников и факторов загрязнения;
- мониторинг источников антропогенного воздействия на окружающую среду;
- мониторинг загрязнения биотических и абиотических компонентов окружающей среды;
- оценка экологического и экономического ущерба, нанесенного загрязнением природной среды;
- прогноз загрязнения состояния окружающей среды, антропогенного воздействия на нее, откликов экосистемы и здоровья населения на изменение окружающей среды.

Оценка качества окружающей среды при проведении экологического мониторинга невозможна без нормативов. В области охраны окружающей среды в нашей стране действуют принятые в бывшем СССР государственные стандарты (ГОСТы) и СанПиНы (государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы). Они являются обязательными для исполнения соответствующими организациями.

В перечне Государственных стандартов выделен раздел «Охрана природы», который включает раздел «Охрана и рациональное использование почв». В отдельных группах документов описаны термины (определения, классификация), показатели качества природной среды, параметры загрязнения и интенсивности использования ресурсов, правила охраны природы и рационального природопользования, методы определения этих параметров, требования к методам их определения и пр. Нормативы делятся на нормативы качества природных сред (ПДК химических веществ в природных средах) и нормативы допустимого воздействия (допустимые нагрузки, допустимые уровни содержания веществ в отходах и пр.).

Кроме этого, существуют ведомственные и отраслевые стандарты (ОСТы, ОДК, ОБУВ и др.), которые также содержат критерии, которым должен соответствовать охраняемый природный объект. Эти нормативы природоохранного направления имеют рекомендательный характер.

В 2002 году постановлением Правительства Российской Федерации утверждено Положение об осуществлении госу-

дарственного мониторинга земель. В соответствии с дополненным Земельным кодексом Российской Федерации (2002) мониторинг земель — экологически важная государственная акция. Нарастающие антропогенные нагрузки на земли, с одной стороны, и существенные изменения структуры землепользования в период реформирования земельных отношений, с другой, требуют проведения системы постоянных наблюдений за использованием и состоянием земель.

Задачами мониторинга земель являются: своевременное выявление их антропогенных изменений, оценка этих изменений, прогноз и выработка рекомендаций о предупреждении и устранении последствий негативных процессов; информационное обеспечение ведения государственного кадастра, государственного земельного контроля за использованием и охраной земель, иных функций государственного и муниципального управления земельными ресурсами, а также землеустройства; обеспечение граждан информацией о состоянии окружающей среды в части состояния земель.

Принятие решений, обеспечивающих защиту населения от неблагоприятного изменения состояния окружающей среды, определяется срочностью информации, получаемой природоохранными службами. По этому свойству информация о состоянии окружающей среды делится на категории:

- 1) экстренная информация содержит сведения о резком изменении уровня загрязнения окружающей среды, вызванном нарушением режима работы предприятий или неблагоприятными гидрометеороусловиями, которые требуют срочного принятия решений по снижению или прекращению выбросов и сбросов; эти данные немедленно сообщаются местным и центральным органам;
- 2) оперативная информация охватывает месячный период наблюдений, обрабатывается на местах и в центральных природоохранных органах, сообщается местным и центральным органам;
- 3) режимная информация охватывает годовой период наблюдений и отражает общее состояние, позволяющее изучить влияние загрязнения на заболеваемость людей, оценить ущерб, нанесенный загрязнением, планировать размещение новых и реконструкцию действующих предприятий, оценивать фоновое загрязнение природной среды.

Сбор, передача и обобщение информации о состоянии окружающей среды в соответствии с организацией системы национального мониторинга проводится на локальном, региональном, федеральном уровнях.

Организация мониторинга состояния воздуха, вод, почв имеет многоуровневую структуру, аналогичную структуре служб Гидромета. Многоуровневая организация государственной службы экологического мониторинга соответствует поставленным задачам. Она предусматривает последовательность получения и обобщения информации:

- 1) региональные станции (РС) наблюдений ведут непосредственные наблюдения, обобщают полученные данные на локальном уровне;
- 2) региональные центры обобщают, анализируют материалы, составляют местные прогнозы и дают оценку состояния окружающей среды на территории региона;
- 3) на федеральном уровне дают оценку и прогноз состояния окружающей среды в государственном масштабе.

Каждый вид мониторинга имеет свой оперативный уровень, способный обобщать первичную информацию, давать оценку состояния среды и готовить рекомендации по ее защите.

Региональная станция (РС) — основное оперативное звено мониторинга. В основе организации ее работы лежит ландшафтно-геохимический подход. Объект наблюдения на этом уровне — водосборный бассейн. РС должна оценивать состояние водосборного бассейна, типичного для данной физико-географической зоны, на основе регулярных наблюдений на стационарных биосферных пикетах (БП), размещенных в типичных ландшафтах региона, в представительных биогеоценозах. В качестве интегральных параметров экологического состояния РС могут служить структура земельных угодий, площади почвенно-растительного покрова, горизонтальная и вертикальная структура биогеоценоза, его пространственная неоднородность. Преимущества бассейнового подхода и использования РС, как основного оперативного звена, перед другими территориальными единицами — наличие определенных границ водосборного бассейна, аналогичное строение бассейнов всех масштабов, однонаправленность потоков вещества и энергии, что делает возможными и облегчает балансовые расчеты. Функциональная структура РС предполагает наличие трех комплексов: наблюдательного, лаборатор-

но-аналитического и вспомогательного. Наблюдательный блок состоит из сети стационарных пикетов, которые охватывают основные типы ландшафта экорегиона, где проводится сбор проб, подлежащих анализу. Лабораторно-аналитический блок обеспечивает анализ проб почв, вод, воздуха. Задача вспомогательного блока — обработка экспериментального материала, подготовка его для передачи на базовую станцию.

Региональные станции действуют как на территориях, в минимальной степени подверженных воздействию человека, так и на существенно измененных им. Если последние представляют собой загрязненные территории, то при размещении пикетов принимается во внимание не только структура ландшафта, но и расстояние от источников загрязнения. Чем ближе к источнику загрязнения, тем больше плотность точек наблюдения.

Базовые станции (БС) обобщают информацию, поступающую от подчиненных РС, дают оценку состояния окружающей среды на территории региона и поставляют данные в национальный центр мониторинга (НЦ), где оценивается состояние окружающей среды на территории всей страны. Базовые станции не только обобщают информацию региональных станций, но могут проводить и собственные наблюдения, например, самолетный и космический мониторинг, результаты которого используются для обобщения данных об экологическом состоянии региона.

Предполагается регулярное проведение различных видов мониторинга: инвентаризация эродированных, техногенно-нарушенных, заболоченных, опустыненных почв; мониторинг почв по их производительной способности (бонитировочный); агрохимический почвенный мониторинг, санитарно-гигиенический почвенный мониторинг, ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг.

Глобальный мониторинг проводится вне системы национального мониторинга, направлен на контроль общепланетарного загрязнения.



## **ГЛАВА 15**

# **СОСТОЯНИЕ ПОЧВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЧВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

### **15.1. Экологическая обстановка в Российской Федерации**

Во исполнение Закона «Об охране окружающей среды» (2002), «Положения об осуществлении государственного мониторинга земель» (2002), Постановления Правительства Российской Федерации от 1993 года «О порядке разработки и распространения ежегодного государственного доклада о состоянии окружающей природной среды», федеральные органы исполнительной власти с 1991 года выпускают ежегодное официальное издание «Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации». В 2005 году вышло его четырнадцатое издание. Эти документы характеризуют экологическую обстановку в стране и воздействие на нее хозяйственной деятельности. Ежегодный доклад содержит анализ состояния атмосферного воздуха, поверхностных, подземных и морских вод, почвы и земельных ресурсов; анализ влияния экологических факторов на здоровье населения, анализ влияния важнейших видов производственной деятельности (промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, сельского хозяйства, транспорта, Вооруженных сил РФ, промышленных и транспортных аварий и катастроф) на окружающую среду всех федеральных округов страны. Ежегодно публикуется также «Государственный (национальный) доклад о состоянии и охране земель в Российской Федерации». Материалы названных государственных докладов за 2001 – 2004 годы являются основой содержания настоящей главы. Используются также материалы и других открытых публикаций.

Начало XXI века в нашей стране знаменуется переходом от продолжавшегося последние 10 лет предыдущего столе-

тия снижения производства и соответственно снижения техногенной нагрузки на окружающую природную среду к усилению воздействия на нее. Это связано с ростом как потребления природных ресурсов, так и поступления отходов различных производств.

В РФ среди пахотных земель преобладают земли третьего (26 %) и четвертого (27 %) классов пригодности под сельскохозяйственные угодья. На долю малопродуктивных почв (пятый и шестой классы) приходится около 20 % земель, используемых в настоящее время под пашню. Такая же доля земель относится к категории непригодных для использования под сельскохозяйственные угодья. Различные негативные факторы способствуют образованию выпаханых, истощенных земель, которых, по оперативным данным, в некоторых регионах насчитывается до 35 %.

Отмечается устойчивая тенденция дегумификации почв пашни во всех субъектах РФ. Содержание гумуса в почвах пашни достигло предельно минимального уровня (1,3 % — в Нечерноземной зоне). По результатам агрохимического обследования почвы сельскохозяйственных угодий РФ характеризуются низким и очень низким содержанием органического вещества на площади 53 млн га, что составляет 46 % обследованной площади. В Центрально-Черноземных областях практически полностью утеряны тучные черноземы и исчезли почти все многогумусные виды. Одновременно с этим интенсивно снижается содержание питательных веществ: недостаточное содержание подвижного фосфора выявлено на 64 млн га (66 %) пашни, а обменного калия — на 11 млн га (10 %). Усиливается закисление почв (оно отмечается даже в черноземах), что связано с истощительным использованием земель, с прекращением в большинстве сельскохозяйственных предприятий внесения в почвы минеральных и органических удобрений, с нарушением севооборотов, невыполнением почвозащитных, агрохимических и мелиоративных мероприятий.

Опустыниванию и засухам подвержены территории более 40 субъектов Российской Федерации, в которых проживает около 50 % населения страны и где производится более 70 % сельскохозяйственной продукции. Ветровая эрозия в большей мере распространена в Сибирском (45 % площади земель), Южном (40 %) округах. Сильно пострадали от деградации сельхозугодья в Поволжье, на Южном Урале, в Западной Сибири и в Республике Калмыкия, в рав-

нинных районах Республики Дагестан. В настоящее время это самые опустыненные земли не только в России, но и в Европе — опустыниванием в 50 и более баллов здесь охвачено свыше 90 % площади сельхозугодий. Этому во многом способствовала экологически не оправданная распашка целинных земель засушливых регионов. В Волгоградской, Астраханской, Саратовской, Самарской, Оренбургской областях на такие земли приходится 30–70 % территорий. В аридных зонах России процессам деградации и снижения плодородия почв подверглись и орошаемые земли.

Водной эрозии подвержено 18 % почв сельскохозяйственных угодий (из них пашни 12 %); ветровой эрозии — 8 % почв (из них пашни — 5 %). Около 42 млн га сельскохозяйственных угодий практически утратили плодородие. Ежегодно площадь эродированной пашни увеличивается на 0,4–0,5 млн га, потери почв на сельскохозяйственных угодьях составляют более 1,6 млрд т плодородного слоя. Наиболее опасными в эрозионном отношении являются земли Приволжского, Южного и Центрального федеральных округов.

Переувлажненные и заболоченные сельскохозяйственные угодья составляют 12 % от наличия сельскохозяйственных угодий (в категории земель сельскохозяйственного назначения). Процессы заболачивания наиболее характерны для территории Центрального (их доля от сельхозугодий составляет 32 %), Сибирского (23 %), Приволжского (10 %), Уральского (10 %), Северо-Западного (10 %), Дальневосточного (10 %) федеральных округов.

Засоление и солонцеватость ведут к снижению продуктивности почв. Засоленные и солонцеватые почвы занимают около 20 % сельскохозяйственных угодий, из них пашни — почти 7 %. Наибольшие площади засоленных земель находятся в Южном (53 %), Сибирском (33 %), Приволжском (7 %), Уральском (6 %) федеральных округах.

На севере страны нанесен значительный ущерб оленьим пастбищам и оленеводству. Площадь деградированных в разной степени степени оленьих пастбищ составляет 63 %, причем более половины их испытывают среднюю и сильную степень деградации.

В регионах применяются различные методы улучшения состояния сельскохозяйственных земель. В Алтайском, Краснодарском и Ставропольском краях, в Белгородской, Владимирской, Воронежской, Курской областях накоплен положительный опыт внедрения и использования ландшафт-

ной системы земледелия. В Республике Башкортостан на площади 720 тыс. га применяют поверхностную обработку почвы. В Челябинской области на площади 1,0 млн га сев проводят по стерневому фону. В Алтайском крае на площади почти 1,7 млн выполняется минимальная обработка почвы. В Самарской области разработаны и внедрены в производство новые ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур, позволяющие сохранять и повышать почвенное плодородие.

Значительные площади пашни и других сельскохозяйственных угодий подвергаются деградации, загрязнению, уничтожению, захламлению отходами производства и потребления, что нередко является следствием истощительного и потребительского использования земель.

В наибольшей степени антропогенное воздействие на окружающую среду связано с постоянным поступлением выбросов различных химических веществ. Основная часть выбросов поступает с отходами предприятий угольной промышленности, черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности. Количество их постоянно растет (табл. 15.1).

Таблица 15.1

**Образование отходов в отраслях промышленности  
Российской Федерации, млн т**

| Промышленность  | 2002 г. | 2003 г. | 2004 г. |
|---|---------|---------|---------|
| Всего   | 1989    | 2571    | 2599,4  |
| Угольная  | 1054    | 1243    | 1442,9  |
| Цветная металлургия                                   | 251     | 425     | 459,3   |
| Черная металлургия                                    | 398     | 478     | 429,0   |
| Химическая и нефтехимическая                          | 116     | 120     | 133,2   |
| Электроэнергетика                                     | 57      | 73      | 57,5    |
| Строительных материалов                               | 80      | 150     | 34,0    |
| Пищевая   | 9       | 31      | 15,8    |
| Лесная, деревообрабатывающая<br>и целлюлозно-бумажная | 9       | 25      | 12,9    |
| Машиностроение и металлообработка                     | 7       | 7       | 7,9     |
| Нефтеперерабатывающая и нефтедобывающая               | 3       | 2       | 2       |

Выбросы отходов обеспечивают загрязнение всех природных сред. Опыт 20-летнего мониторинга показывает, что экологическая обстановка в наиболее развитых экономических регионах остается неблагоприятной, а загрязнение природной среды — высоким. Страна переживает трудные годы. До 2000 года продолжался спад промышленного производства. Он сопровождался некоторым сокращением техногенных выбросов от стационарных источников, но при этом не наблюдалось адекватного улучшения качества окружающей природной среды. Наметившийся вслед за этим постепенный рост производства сопровождался наращиванием объема выбросов, в промышленности, например, ежегодный прирост выбросов составляет в среднем 2 %.

Наиболее опасно загрязнение атмосферы. Объем вредных веществ, выбрасываемых в РФ в атмосферу от стационарных источников, распределяется по отраслям экономики следующим образом: промышленность — 80 %, транспорт (включая трубопроводный) — 11 %, жилищно-коммунальное хозяйство — 5 %, сельское хозяйство — 0,6 %, другие отрасли экономики — 3 %.

Состав выбросов в Российской Федерации в 2000—2003 годах приведен в таблице 15.2. Средняя степень улавливания вредных веществ от стационарных источников составляет 74 %, обезвреживаются в основном наиболее легко улавливаемые твердые вещества (около 95 %). Токсичных жидких и газообразных веществ задерживается лишь 24 %, оксидов азота — 10 %, углеводородов — 13 %, диоксида серы — 19 %, летучих органических соединений — 20 %.

Таблица 15.2

**Показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу  
в Российской Федерации, тыс. т**

| Показатель                   | 2000 г. | 2001 г. | 2002 г. | 2003 г. |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Выброшено в атмосферу, всего | 18820   | 19124   | 19481,2 | 19829,4 |
| В том числе: твердых веществ | 2972    | 2973    | 2882,8  | 2868,0  |
| жидких и газообразных        | 15848   | 16150   | 16598,4 | 16961,4 |
| диоксид серы                 | 5407    | 5254    | 4987    | 4960    |
| оксид углерода               | 4998    | 5148    | 5858    | 5929    |
| оксиды азота                 | 1698    | 1679    | 1646    | 1662    |
| углеводороды (без ЛОС)       | 2685    | 2724    | 2733    | 2834    |
| ЛОС                          | 850     | 1131    | 1165    | 1357    |
| Уловлено и обезврежено, %    | 78      | 76      | 75      | 74      |

|                              |    |    |    |    |
|------------------------------|----|----|----|----|
| В том числе: твердых веществ | 95 | 95 | 95 | 95 |
| жидких и газообразных        | 26 | 25 | 24 | 24 |
| диоксид серы                 | 18 | 19 | 19 | 19 |
| оксид углерода               | 31 | 31 | 28 | 29 |
| оксиды азота                 | 8  | 7  | 10 | 10 |
| углеводороды (без ЛОС)       | 11 | 11 | 12 | 13 |
| ЛОС                          | 37 | 27 | 24 | 20 |

Выявлены тенденции загрязнения атмосферы. За период 2000 – 2004 годов средние за год концентрации в воздухе взвешенных веществ, диоксида серы, оксида углерода и диоксида азота несколько снизились (на 3,5 – 11 %), стабилизировались средние концентрации фенола и формальдегида. Но средние концентрации в воздухе одного из наиболее опасных токсикантов — бенз(а)пирена, — возросли на 87 %. Многолетняя динамика валовых выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников загрязнения показана на рисунках 15.1 – 15.3.

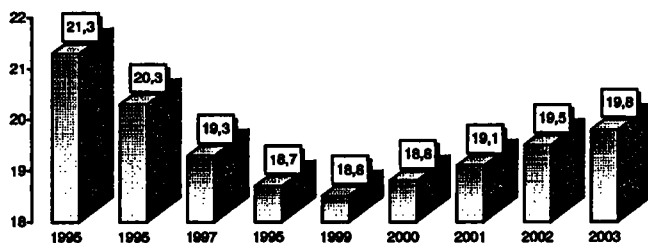


Рис. 15.1. Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в Российской Федерации, млн т

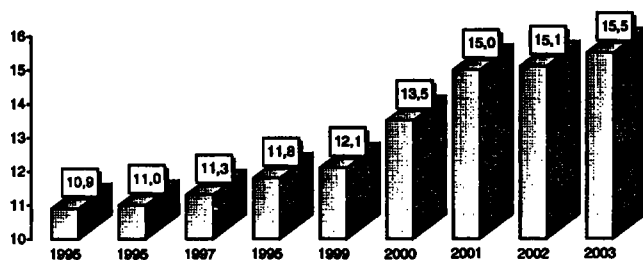


Рис. 15.2. Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от передвижных источников в Российской Федерации, млн т

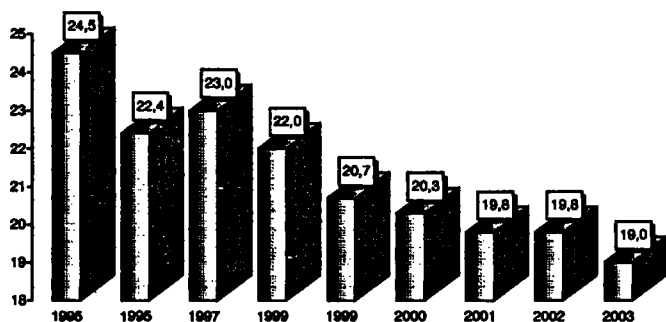


Рис. 15.3. Динамика объемов сброса загрязненных сточных вод в водные объекты Российской Федерации, млн м<sup>3</sup>

Особенно интенсивно загрязняется атмосфера в Свердловской, Челябинской, Оренбургской, Кемеровской, Липецкой, Вологодской областях, в Таймырском и Ханты-Мансийском автономных округах, в Приморском крае.

Большой вклад выбросов от передвижных источников загрязнения. В 2003 году выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников увеличились почти на 1,3 % и составили 15,5 млн т. В среднем по России вклад транспорта в загрязнение атмосферного воздуха составляет 40–45 %, а в крупных городах — до 90 %. Риску потери здоровья в результате загрязнения воздуха транспортными выбросами подвергаются не менее 15 млн горожан. Рост российского автомобильного парка происходит в условиях существенного отставания экологических показателей отечественных автотранспортных средств и используемых моторных топлив от мирового уровня, а также отставания в развитии и техническом состоянии улично-дорожной сети. Имеют место заторы на дорогах и продолжительная работа двигателей на холостом ходу, отсутствие на автомобилях средств обезвреживания отработавших газов. В последние годы во многих городах произошло существенное сокращение экологически чистых общественных средств транспорта — трамваев и троллейбусов.

Возросло загрязнение почв городов. К опасной категории загрязнения почв тяжелыми металлами отнесено 6 % обследованных за 1990–2003 годы населенных пунктов, например, Белово, Кировоград, Мончегорск, Реж, Рудная Пристань, Свирск. Загрязнение умеренно опасной степени

выявлено в 10 % обследованных городов. Почвы остальных 84 % населенных пунктов относятся (в среднем) к допустимой категории загрязнения почв тяжелыми металлами, хотя отдельные участки почв в городах могут быть загрязнены в большей степени.

Количество городов, где средние концентрации какой-либо примеси превышают ПДК, за пять последних лет практически не изменилось. Но число городов, включаемых в Приоритетный список городов, увеличилось с 29 до 43, а городов, в которых уровень загрязнения атмосферы оценивается (по показателю ИЗА) как высокий и очень высокий, за пять лет увеличилось на 49 %, что обусловлено ростом концентраций бенз(а)пирена во многих городах (табл. 15.3). В крупнейших городах России наблюдается рост уровня загрязнения атмосферы (по показателю ИЗА) более чем на 30 %.

Таблица 15.3

**Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения воздуха в 2004 г.**

| Город            | Вещества, определяющие высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха |
|------------------|---|
| Ангарск          | БП, Ф   |
| Барнаул          | БП, ВВ, Ф, NO <sub>2</sub>  |
| Владимир         | БП, Ф, фенол  |
| Волгоград        | БП, NO <sub>2</sub> , NO, Ф, HCL  |
| Екатеринбург     | Ф, БП, NO <sub>2</sub>  |
| Иркутск          | Ф, БП, NO <sub>2</sub>  |
| Кемерово         | NO <sub>2</sub> , БП, Ф, NH <sub>3</sub>                                |
| Кызыл            | БП, Ф, ВВ   |
| Магнитогорск     | БП, Ф, ВВ, NO <sub>2</sub>  |
| Набережные Челны | БП, фенол, Ф  |
| Нижнекамск       | NO <sub>2</sub> , БП, Ф   |
| Новокузнецк      | Ф, БП, ВВ, NO <sub>2</sub>  |
| Новороссийск     | БП, Ф, фенол  |
| Норильск         | БП, Ф   |
| Омск             | Ф, БП, ЭБ   |
| Ростов-на-Дону   | NO <sub>2</sub> , NO, Ф, БП   |
| Саратов          | NO <sub>2</sub> , БП, Ф, фенол  |
| Уфа              | Ф, БП, NO <sub>2</sub>  |



Окончание табл. 15.3

|           |                             |
|-----------|-----------------------------|
| Хабаровск | БП, Ф, NO <sub>2</sub> , ВВ |
| Челябинск | БП, Ф, HF                   |
| Череповец | БП, CS <sub>2</sub> , Ф     |

Примечание: Ф — формальдегид, ВВ — взвешенные вещества, БП — бенз(а)пирен, ЭБ — этилбензол, NO<sub>2</sub> — диоксид азота, CS<sub>2</sub> — сероуглерод, NO — оксид азота, HCL — хлористый водород, NH<sub>3</sub> — аммиак, HF — фтористый водород

Города Приоритетного списка не ранжируются по степени загрязнения. В этот список входят также: Балаково, Барнаул, Благовещенск-на-Амуре, Братск, Владимир, Волжский, Зима, Комсомольск-на-Амуре, Краснотурьинск, Курган, Магадан, Нерюнгри, Новочеркасск, Первоуральск, Петропавловск-Камчатский, Радужный, Югра Рязань, Селенгинск, Улан-Удэ, Усурийск, Чебоксары, Чита, Шелехов, Южно-Сахалинск.

Мониторинговые наблюдения показали степень загрязнения водных объектов. Ежегодно в поверхностные воды сбрасывается более 50 км<sup>3</sup> сточных вод. В 2003 году в поверхностные водные объекты страны поступило 52 км<sup>3</sup> сточных вод (2002 г. — 56 км<sup>3</sup>, из которых 36 % сбрасываются загрязненными, 59 % — нормативно чистыми и только 4 % — нормативно очищенные сточные воды). Объемы загрязненных сточных вод, поступающих в водные объекты страны, распределяются среди предприятий и производственных объектов следующим образом: жилищно-коммунальное хозяйство (62 %); различные отрасли промышленности (31 %); сельское хозяйство (6 %). Отмечается, что в последние годы сброс загрязняющих веществ в водные объекты снижается. До 2000 года это происходило из-за спада производства, позже — за счет принятия в ряде областей (Ростовской, Томской, Тульской, Мурманской, Астраханской) водоохранных мер. Темпы снижения сброса загрязненных вод в 2003 году достигли максимального значения — 5 %.

Анализ качества поверхностных вод на территории Российской Федерации показывает превышение нормативного содержания нефтепродуктов, фенолов, легкоокисляемых органических соединений, соединений тяжелых металлов, азота, а также специфических загрязняющих веществ — лигнина, ксантогенатов, формальдегида и др.

Загрязнение почв выявлено на территориях, подверженных воздействию прежде всего выбросов предприятий цветной и черной металлургии, энергетики, машиностроения и металлообработки, химической, нефтехимической промышленности, производства стройматериалов. Например, за более чем 20-летний период ведения мониторинга в 5-километровых зонах вокруг городов Приморья выявлено увеличение примерно в 1,5–2 раза общего содержания свинца в почвах даже на расстоянии 200–500 м от автомобильных дорог. За период 1999–2003 годов в почвах вблизи промышленных центров значимо повысилось содержание тяжелых металлов, нефтепродуктов, фтора, сульфатов и нитратов.

Источниками загрязнения окружающей среды соединениями металлов являются предприятия черной и цветной металлургии, фтора — алюминиевые заводы, предприятия по производству фосфорных удобрений и другие. За период 1999–2003 годов загрязнение почв водорастворимыми соединениями фтора, в количествах, превышающих ПДК, зафиксировано в городах Зима, Иркутск, Краснотурьинск, Каменск-Уральский, Михайловск, Новокузнецк, Первоуральск, Свирск, Черемхово, Шелехов.

Высокие уровни загрязнения почв нефтепродуктами, превышающие фоновые в 10–100 раз и более, наблюдаются в районах добычи, транспортировки, распределения и переработки нефти. Почти во всех обследованных промышленных центрах имеются участки почв, загрязненные нефтепродуктами. Загрязнены нефтепродуктами почвы Сызранского района Самарской области, Сормовского района Нижнего Новгорода, Дзержинска. Загрязнение почв остаточными количествами пестицидов, выявлено на площади на 3,3–3,5 % сельскохозяйственных земель.

Нижеприведенные показатели характеризуют экологическую обстановку в Москве и Московской области, в Ростове и Ростовской области.

## **15.2. Экологическая обстановка в Москве и Московской области**

Как и во всех других случаях, загрязняющие вещества распространяются преимущественно через атмосферу. В 2003 году в атмосферный воздух Москвы выброшено почти 1170 тыс. т загрязняющих веществ, основная часть из них поступила от передвижных источников, т. е. от

автотранспорта (92 %), 8 % — от стационарных источников. Численность автотранспортных средств города составила в 2003 году более 2,7 млн единиц. В составе атмосферных выбросов преобладают оксиды углерода (73 %), по 12–14 % приходится на углеводороды и оксиды азота.

Основные стационарные источники загрязнения воздуха в Москве — Московский НПЗ (68 %), ТЭЦ-23 и другие предприятия энергетики. Вносят вклад также ОАО «Аэропорт Внуково», ФГУП «ГКНЦП им. Хруничева», ММПП «Салют», ОАО «ММЗ «Серп и молот», ОАО «Лианозовский электромеханический завод».

Подвержены загрязнению водные объекты Москвы. На территории Москвы в настоящее время протекает более 140 рек и ручьев. Основной водной артерией является река Москва (протяженность ее в черте города 75 км), наиболее крупные притоки Яуза, Сетунь, Сходня. Часть ручьев забраны в коллекторы, остальные имеют открытые русла. В них и поступают сточные воды. Объем сточных вод, сброшенных в поверхностные водоемы в 2003 году, составил более 2700 млн м<sup>3</sup>, из них 73 % — загрязненные. По сравнению с предыдущими годами в них повысилось содержание взвешенных веществ, органических веществ, нефтепродуктов, железа, марганца. Основными загрязнителями являются предприятия коммунального хозяйства, прежде всего Курьяновская и Люберецкая станции аэрации, они поставляют почти 70 % от объема сточных вод.

Химические свойства почв в Москве отличаются от свойств зональных почв. Показатели некоторых свойств почв Москвы даны в таблице 15.4.

Урбаноземы Москвы отличаются щелочной реакцией, более высоким содержанием органического вещества и питательных элементов, загрязнением. Загрязняющие вещества — это металлы и неметаллы аэрозолей и стоков, нефтепродукты, радионуклиды, пестициды, унаследованные от агроландшафтов, органические отходы.

Серьезным источником загрязнения в городе является применение антигололедных средств. Хотя городские растения страдают в основном из-за отравляющего действия выхлопных газов автомобилей, но вносят вклад и соли антигололедных средств. Аэрозольный поток солей поднимается на высоту 1–15 м и переносится на расстояния до 200–250 м от автостреды. Внесение в зимний период антигололедных средств в Москве в недавние годы состав-

ляло в среднем 60 тыс. т, позже применение их выросло до 300 тыс. т. Многие годы они представляли собой смеси песка и соли (чаще всего хлориды натрия и кальция). После того как были выявлены разные стороны отрицательного влияния хлоридов на почву, их внесение сократилось. Шире стали применять водные растворы ацетата аммония, смеси азотнокислых солей кальция и магния. Это привело к улучшению экологической обстановки.

Таблица 15.4

**Сравнительная характеристика химических свойств  
урбаноземов Москвы и дерново-подзолистых почв  
природных ландшафтов Московской области  
(поверхностные горизонты)**

| Показатель                          | Урбано-земы | Дерново-подзолистые почвы природных ландшафтов |
|-------------------------------------|-------------|--|
| $C_{\text{орг}}$                    | 2–7         | 1–2  |
| pH $H_2O$                           | до 8        | 4,5–6,2  |
| $Ca^{2+}$ м.-экв/100 г почвы        | 5–100       | 5–10   |
| $Mg^{2+}$ м.-экв/100 г              | 2–39        | 2–3  |
| Емкость поглощения, м.-экв/100 г    | до 30       | 10–12  |
| Степень насыщенности основаниями, % | до 100      | 60–70  |
| $P_2O_5$ , мг/100 г почвы           | 5–150       | 5–10   |
| $K_2O$ , мг/100г почвы              | 2–60        | 7–15   |
| Сульфаты, мг/100 г                  | до 220      | нет  |
| Cl, мг/100 г                        | до 40       | нет  |
| Нитраты, мг/100 г                   | 12–15       | нет  |

Городские почвы отличаются часто не только повышенным общим содержанием металлов, но и содержанием их подвижных форм. В почвах скверов и селитебных участков центра Москвы повышено содержание Pb, Zn, Cu, Cd. Мониторинг почв селитебных территорий Москвы за 2003 год показал, что из 270 обследованных почв в 23 % случаев получены превышения ПДК содержания в почвах Pb, Cd, в 7–13 % случаев — содержания Zn, нитратов и формальдегида. Превышения содержания в почвах Mn, As, Cu, Cr, Ni, Hg, Co не были выявлены. Отмечено улучшение этих показателей по сравнению с предыдущим годом, что объясняют применением преимущественно жидких

противогололедных реагентов, их точной дозировкой, утилизацией основной массы вывозимого снега. Санитарно-эпидемиологическая служба установила, что в среднем состояние  $\frac{1}{3}$  почв Москвы не соответствует санитарным нормам (табл. 15.5).

Таблица 15.5

**Санитарно-гигиеническое состояние почв административных округов Москвы (по данным МТЦНСЭН)**

| Округ      | Число точек отбора проб | Число исследованных проб по санитарно-химическим показателям |      |      | Из них не отвечают санитарным нормам и гигиеническим нормативам (% от обследованных) |      |      |
|------------|-------------------------|--|------|------|--|------|------|
|            |                         | 2001   | 2002 | 2003 | 2001   | 2002 | 2003 |
| ЮВАО       | 12                      | 24   | 24   | 24   | 62   | 21   | 21   |
| СВАО       | 17                      | 33   | 20   | 34   | 52   | 50   | 0    |
| ВАО        | 16                      | 22   | 32   | 32   | 27   | 19   | 13   |
| Зеленоград | 7                       | 14   | 10   | 10   | 0  | 10   | 20   |
| СЗАО       | 9                       | 20   | 20   | 20   | 10   | 5    | 40   |
| САО        | 15                      | 30   | 30   | 34   | 30   | 50   | 35   |
| ЦАО        | 12                      | 45   | 24   | 20   | 42   | 88   | 100  |
| ЗАО        | 22                      | 43   | 20   | 48   | 37   | 15   | 42   |
| ЮА-ЗАО     | 12                      | 42   | 24   | 24   | 50   | 75   | 62   |
| ЮАО        | 22                      | 10   | 25   | 36   | 90   | 88   | 36   |
| Итого      | 144                     | 283  | 210  | 282  | 40   | 49   | 35   |

В Московской области площадь земель в административных границах составляет 4580 тыс. га. По функциональному назначению преобладают земли лесного фонда (40 %) и земли сельскохозяйственного назначения (39 %). Остальное — земли поселений, промышленности, транспорта и иного назначения. Основные площади заняты дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами.

По данным агрохимического обследования, почвы области характеризуются следующими средневзвешенными показателями: pH — 5,8, содержание подвижного фосфора около 220 мг/кг, обменного калия — 143 мг/кг, кальция — 9,8 м.-экв/100 г почвы, магния — 23,3 м.-экв/100 г,

гумуса — 2,2 %. Но при этом 29 % пахотных почв занимают кислые почвы с рН ниже 5,5; 59 % земель имеют пониженное содержание поглощенного кальция (< 10 м.-экв/100 г), 39 % земель — пониженное содержание магния (< 2 м.-экв/100 г), 44 % — пониженное содержание обменного калия (< 120 мг/кг), 69 % — пониженное содержание гумуса (< 2,5 %). Почвы области недостаточно обеспечены микроэлементами: низка обеспеченность цинком (61 % обследованных земель), молибденом (83 %), кобальтом (89 %), марганцем (59 %), медью (52 %), бором (51 %).

На территории области размещено свыше 5000 предприятий и организаций, оказывающих негативное воздействие на атмосферный воздух. Наибольшее количество загрязняющих веществ поступает в атмосферу от предприятий энергетики (ТЭЦ, ГРЭС и различных котельных), авиатранспорта, автотранспорта, а также от предприятий коммунального хозяйства (полигонов ТБО и очистных сооружений).

Общий выброс вредных веществ в атмосферу, составляет более 550 тыс. т, на долю стационарных источников приходится около  $\frac{1}{4}$  выбросов. В области зафиксировано более 48 тыс. стационарных источников загрязнения атмосферы, 15 % которых оснащено системами очистки отходящих газов. Основные стационарные источники загрязнения воздуха: ГРЭС-4 Кашира, ГРЭС-5 Шатура, ТЭЦ г. Дзержинска.

Большая часть (более 70 %) выбросов приходится на передвижные источники, т. е. автотранспорт.

В 2003 году в поверхностные водные объекты сброшено 1315 млн м<sup>3</sup> сточных вод, из них почти половина относится к загрязненным. Основные источники загрязнения поверхностных вод — предприятия ЖКХ, крупнейший из них — ОАО «Экоаэросталкер», г. Щелково (74 млн м<sup>3</sup>). Загрязняют отходы ЖКХ городов Подольск, Павлов Посад, Щелково, Орехово-Зуево, Коломна. За 2003 год было построено и введено в эксплуатацию 18 очистных сооружений ливневого стока, но этого пока недостаточно.

Металлами загрязнены незначительные площади пахотных угодий Московской области. Влияние выбросов промышленности и транспорта сказывается на локальном уровне. Доля загрязненных металлами таких земель измеряется первыми единицами или долями процентов от общей площади обследованных земель (табл. 15.6). Чаше

загрязнение металлами связано с неконтролируемым применением осадков сточных вод в виде удобрений.

Таблица 15.6

Содержание тяжелых металлов и фтора в почвах (кратное ПДК) сельскохозяйственных угодий Московской области на 01.01.2005 г. (по данным ФГУ ЦЦАС «Московский»)

| Элемент | Обследовано площадей, тыс. га | Площади почв с содержанием Me < ПДК |      | Площади почв с содержанием Me > ПДК |     |           |     |
|---------|-------------------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-----|-----------|-----|
|         |                               |                                     |      | 1 – 1,5 ПДК                         |     | > 1,5 ПДК |     |
|         |                               | тыс. га                             | %    | тыс. га                             | %   | тыс. га   | %   |
| Cd      | 906                           | 904                                 | 99,7 | 1,5                                 | 0,2 | 0,8       | 0,1 |
| Pb      | 906                           | 903                                 | 99,7 | 1,6                                 | 0,2 | 0,8       | 0,1 |
| Zn      | 906                           | 906                                 | 100  | 0                                   |     | 0         |     |
| Cu      | 906                           | 905                                 | 100  |                                     |     |           |     |
| Ni      | 847                           | 847                                 | 100  | 0                                   |     |           |     |
| Hg      | 53                            | 53                                  | 100  |                                     |     |           |     |
| F       | 795                           | 794                                 | 100  |                                     |     |           |     |

Отмечается загрязнение пестицидами. Средний уровень их внесения в Московской области составил в 2002 году 1,8 кг/га, в 2004-м 1,7 кг/га. Применяют их в цветоводческих и овощеводческих хозяйствах. Чаще всего используют берефен, фосфамид, актелик, децис, цимбум, зенкор. Доля площадей, где обнаружены превышения ПДК в овощной продукции, составляет в разных хозяйствах от 2,9 до 1,5 % (от обследованных). Превышение ПДК особо опасных контролируемых пестицидов не обнаружено: максимальное суммарное содержание ДДТ в продукции не превышало 0,14 ПДК, суммарное содержание ГХЦГ — 0,11 ПДК, трефлана — 0,3 ПДК.

Растут площади в Московской области, занятые полигонами и свалками, где размещаются отходы не только предприятий области, но и Москвы. Ежегодный объем захоронения ТБО составляет 6 млн т.

### 15.3. Экологическая обстановка в Ростове и Ростовской области

Ростов-на-Дону — город с населением более 1 млн, насыщенный предприятиями разного профиля («Ростсельмаш», «Роствертол», кожзавод, гипсовый завод, мебельная

фабрика, ТЭЦ). В 2004 году всего выброшено вредных веществ от стационарных источников 132 тыс. т. Объемы выбросов от стационарных источников в городах области составили (тыс. т): Ростов-на-Дону (9), Новочеркасск (62), Таганрог (7), Шахты (4), Волгодонск (3), Новошахтинск (1), Батайск (1), Азов (около 1).

Основными источниками загрязнения атмосферы являются: ОАО «Новочеркасская ГРЭС», Экспериментальная ТЭС, ОАО «Новочеркасский электродный завод», ОАО «Таганрогский металлургический завод», Волгодонская ТЭЦ-2, МУП «Теплокоммунэнерго», ОАО «Ростсельмаш». На подвижные источники загрязнения приходится 82 % от их общего объема.

Выбросы предприятий города загрязняют все природные среды города. Суммарный годовой выброс загрязняющих веществ в атмосферу города в 1998 году, например, составил 146 тыс. т. Из них не менее 90 % приходится на долю автомобильного транспорта, количество поставляемых им отходов ежегодно увеличивается. В первые годы нового века в наиболее загрязненных районах города в атмосферу ежегодно выбрасывается до 200 т твердых пылеватых частиц, до 300 т летучих газообразных соединений, до 15 т метана, до 2 т формальдегида.

Интенсивно загрязняются водные объекты. Несмотря на то, что производственные сточные воды проходят через локальные очистные сооружения, в реки Дон и Темерник попадают нефтепродукты, СПАВ, фенолы, минеральные и органические взвеси, хлориды, сульфаты, нитраты, аммиак, тяжелые металлы и другие вещества. В реке Темерник, например, ежегодно поступает не менее 100 млн м<sup>3</sup> неочищенных или слабо очищенных сточных вод, что в 15 раз больше природного стока с водосбора.

В условиях загрязненного воздуха проживает около 40 % населения Ростовской области. В 2003 году общие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу области составил 496 тыс. т, на долю стационарных источников пришлось 30 %. В связи с некоторым улучшением эффективности очистных сооружений в 2003 году по сравнению с 2002-м выбросы в атмосферу сократились на 3 %. Основная часть загрязняющих веществ поступает в атмосферу от передвижных источников, а именно 70 % от общей массы выбросов.

Загрязняющие вещества поступают в водные объекты города и области. Основными источниками водоснабжения



в Ростовской области являются поверхностные воды Дона, реки бассейна Дона, Цимлянское водохранилище. В поверхностные водные объекты поступает в год 1723 млн м<sup>3</sup>, почти 1/3 из них — загрязненные воды. Мощность очистки перед сбросом в водные объекты — 672 млн м<sup>3</sup>.

Основные предприятия-загрязнители атмосферного воздуха Ростовской области: ОАО «Новочеркасская ГРЭС» — вклад в загрязнение области составляет до 58 %, МУП «Теплокоммунэнерго», Волгодонская ТЭЦ-2, ОАО «Ростсельмаш», ТЭЦ-2, ФГУП «Новочеркасский завод синтетических продуктов», ОАО НПО «Новочеркасский электровозостроительный завод», «Донской кирпич», ООО «Аристоктель», ОАО «Новочеркасский электродный завод» — объемы выбросов этих предприятий колеблются от 1,6 % до 0,4 % от общего поступления в области.

Огромны отходы разных отраслей производства. Отходы угледобычи и углеобогащения составляют более половины всех отходов производства в области, масса их накопления достигает 400 млн т. Площадь отвалов шахт занимает до 1 тыс. га. Отходы ТЭЦ, золы и шлаки (более 40 млн т) размещаются на отвалах площадью до 250 га. За последние три года ежегодное количество промышленных отходов составляло 7–8 млн т, бытовых отходов — около 1,5 млн т. Годами накапливаются на территориях предприятий не утилизируемые илы, образующиеся при очистке сточных вод (гальваношламы, отходы, загрязненные нефтепродуктами, отходы лакокрасочных производств, отработанные СОЖ и др.).

В окружающую среду поступает огромное количество твердых бытовых отходов. Образующиеся повсеместно и ежедневно твердые бытовые отходы размещаются в основном, на неусовершенствованных объектах захоронения, расположенных зачастую в водоохраных зонах, песчаных карьерах с близким уровнем грунтовых вод. С 1999 года в Ростове-на-Дону действует модернизированный полигон твердых бытовых отходов, аналога которому нет на Северном Кавказе. Влияние его на окружающую среду минимально. С 2002 года работает первый в Южном федеральном округе Ростовский мусороперерабатывающий комплекс.

В почвах Ростовской области продолжается интенсивное развитие таких негативных процессов и явлений, как водная и ветровая эрозия, потери гумуса, переувлажнение,

засоление, осолонцевание, загрязнение почв и грунтов токсичными веществами. Эрозии подвержено свыше 35 % сельскохозяйственных угодий. В области усиливается опустынивание. Закладка полезащитных лесополос и противозерозионных овражно-балочных насаждений осуществлялась только на 10–20 % от намеченного объема. За 2003 год увеличилась площадь покрытых лесом земель на 0,5 тыс. га. Площадь искусственно созданных насаждений увеличилась на 0,4 тыс. га.

В Ростове-на-Дону суммарный индекс загрязнения для разных почв выше единицы (в лесопарковой зоне в среднем колеблется около 1,6). Превышение содержания ПДК по подвижным формам Mn, Zn, Cu, Pb, Cd не выявлено. Наибольшие значения отмечены для цинка, свинца, меди. Локально в промзоне отмечается большая степень загрязнения, превышение ПДК по общему содержанию металлов достигает 2,5–5.

## **ГЛАВА 16**

# **ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЧВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

### **16.1. Совершенствование методов экологического мониторинга**

Накопленный за почти 30-летний период опыт экологического мониторинга продемонстрировал возможность и эффективность выполнения его первой задачи: оценки сегодняшнего состояния окружающей среды. Получены свидетельства ухудшения природы под влиянием деятельности человека, определены количественные уровни показателей, ее характеризующих. Но не решена вторая важная задача экологического мониторинга: прогноз состояния экосистемы на ее разных уровнях: локальном, региональном, глобальном. Наметившийся в первые годы XXI века рост промышленного производства в России может обострить экологическую обстановку, увеличить вероятность возникновения техногенных аварий с негативными экологическими последствиями. Остается пока без ответа вопрос: возможно ли удовлетворять растущие экономические потребности общества, обеспечивая при этом сохранение и воспроизводство ресурсного потенциала, снижение антропогенной нагрузки на природные комплексы?

В этих условиях значение экологического мониторинга будет только усиливаться. Будут совершенствоваться правовые, экономические, организационные, методологические основы рационального, неистощительного природопользования и охраны окружающей природной среды. Будут совершенствоваться методы прогнозирования состояния окружающей среды.

Все прогнозы состояния окружающей среды относятся к поисковым. Они существенно отличаются от прогнозирования других ситуаций. В любых реальных природных процессах присутствуют три составляющие: а) детермини-

рованная, которая поддается точному расчету на период времени, соизмеримый с целью исследования; б) вероятностная, которая выявляется при изучении прогнозируемого объекта, но точность предсказания ее зависит от успеха в выявлении закономерностей развития процесса; в) случайная, которая на современном уровне знания прогнозу не поддается. Прогнозирование состояния окружающей среды чаще всего имеет дело с вероятностными и случайными составляющими процессов развития. Имеются примеры удачных прогнозов, например, распространения поллютантов от точечного источника загрязнения, но прогнозы развития природных комплексов правильнее можно назвать гипотезами.

Для различных видов прогнозирования состояния окружающей среды применяют разные методы: общенаучные методы, экспертные оценки (или анкетирование), экстраполирование, моделирование.

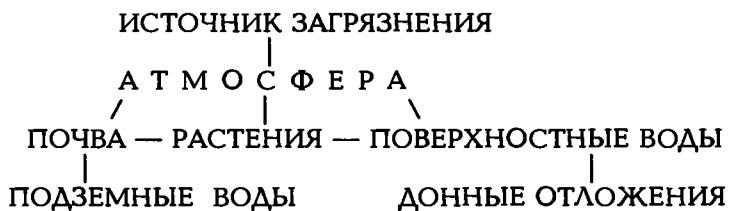
Общенаучные методы применяются чаще всего. Они основаны на определенной последовательности теоретических допусков, посылок или других мыслительных операций, связывающих влияющие факторы и объект прогнозирования. Здесь очень важны профессиональный уровень исследователя, его владение методами системного анализа, понимание специфики влияющих факторов и их взаимосвязь. Эффективность методов экспертных оценок также зависит от индивидуальных характеристик экспертов. Система отбора экспертных оценок постоянно совершенствуется, разрабатываются математические основания для сбора и обработки экспертных оценок. Но оценки тем не менее остаются субъективными.

Метод экстраполяции (или метод аналогий) в прогнозировании состояния окружающей среды применяется давно. Он основан на поиске объектов-аналогов, для которых известен их отклик на различные виды воздействия. Это пример применения сравнительно-описательного метода, когда привлекается и используется ранее накопленная информация, полученная традиционными методами. Но то, насколько будет (и будет ли) объект аналогичен себе самому, но в прошлом, зависит от того, насколько существенные изменения претерпел он за время своего существования. Ограничивает применение этих методов их описательность, необходимость получения большого объема данных и длительность исследований.

Наибольшей популярностью в настоящее время для прогнозов пользуются методы моделирования. Компьютерные технологии позволяют анализировать сложные модели. Но даже самые сложные модели упрощают природный объект. Среди экологических моделей распространены статистические, эмпирические и полуэмпирические модели, балансовые, оптимизационные модели.

Эмпирический, полуэмпирический, статистический методы основаны на сборе возможно большей аналитической информации об объекте. Внимание обращено на процессы, которые определяют состояние объекта, на механизмы этих процессов, на их скорости. При этом предполагается существование аналогий в реакциях отклика объекта на воздействие того или иного фактора. Далее устанавливаются корреляционные связи с параметрами, характеризующими объект. На их основе строится модель системы. В балансовых моделях учитываются потоки веществ в системе.

Модель экологической системы, испытывающей загрязнение, содержит блоки:



Анализируются связи этих блоков. Путь поллютантов от техногенных источников известен. Делается допущение, что поллютанты распределяются вокруг предприятия постоянно и равномерно и что годовая плотность загрязняющих веществ в любой точке загрязненной площади пропорциональна интенсивности выбросов. Поступившие в атмосферу загрязняющие вещества удаляются из нее в результате процессов гравитационной седиментации, вымывания осадками, конвекции и диффузии. Учитывается дисперсность аэрозолей, их вымывание и удаление из атмосферы с осадками, скорость переноса частиц разных размеров и другие показатели, причем параметры эти получены опытным путем.

В поверхностные природные воды загрязняющие вещества поступают непосредственно с атмосферными выпадениями, в составе поверхностного и внутриводного

ного стока, из грунтовых вод. Из состава поверхностных вод загрязняющие вещества переходят в почву, в состав растений и животных, в донные отложения, в атмосферу. В почву загрязняющие вещества поступают с атмосферными выпадениями, из загрязненных растений при их гибели, при транспирации, из водоемов при паводках, при орошении почв. Из почв эти вещества удаляются растениями, вертикальным и поверхностным стоком.

Балансовые расчеты широко используются в мониторинговых целях, в частности, при мониторинге гумусового состояния, агрохимическом мониторинге, санитарно-гигиеническом мониторинге. Например, при нормировании выбросов загрязняющих веществ учитываются размер выбросов, выпадения вокруг завода и доля их, которая уносится в глобальные и региональные потоки; в расчетах принимаются во внимание и такие факторы, как температура выбросов, высота трубы предприятия, химический состав выпадений. Экспериментально определяют параметры названных факторов, составляют серии уравнений, устанавливающих связи между ними.

Теоретические основы геохимического перераспределения химических веществ разработаны Б.Б. Польшовым, А.И. Перельманом, М.А. Глазовской. М.А. Глазовская обобщила принципы оценки степени подверженности почв химическому загрязнению. При характеристике изменения и устойчивости почв под влиянием загрязнения учтены следующие факторы: характер химических реакций, протекающих с участием загрязняющих веществ, и связанных с ними фазовых превращений, количество энергии, определяющей скорость и интенсивность химических превращений химических веществ, закономерность размещения в системе геохимических барьеров, интенсивность выноса за пределы системы.

С учетом этих факторов проведено, например, ландшафтно-геохимическое районирование территории СССР по потенциальной опасности нарушения природной среды при добыче и транспортировке нефти. Опасность остаточного накопления нефтепродуктов в почвах возрастает с юга на север, так как в этом направлении снижается скорость испарения и разложения нефти. В этом же направлении уменьшается опасность гудронизации, отапыривания, засоления почв, загрязненных нефтью, так как размер осадков увеличивается, испарение уменьшается. В пределах отдельных биоклиматических зон

и провинций опасность загрязнения нефтепродуктами возрастает от песчаных почв к суглинистым, от мезотрофных к гидроморфным, от распаханых к целинным.

На той же основе выделяются каскадные ландшафтно-геохимические системы, составляются карты пространственных элементов экосистемы, выделяются области мобилизации, транзита и аккумуляции тех или иных веществ на геохимических барьерах. Наряду с этим составляется карта, обобщающая и систематизирующая техногенные влияния на природные экосистемы на локальном и региональном уровне, выявляются ареалы техногенных эффектов, технобиогеохимические потоки и провинции. Наложение двух таких карт дает возможность выделить территории с различной устойчивостью и изменчивостью почвенного покрова под влиянием различных техногенных воздействий.

На основании подобных исследований могут быть выделены экологические системы, для которых рекомендован тот или иной оптимальный способ использования: а) строгое соблюдение естественного режима; б) регламентированное использование естественных ресурсов; в) интенсивное хозяйственное использование.

С помощью математического моделирования решаются и частные задачи мониторинга. Например, проводится оценка размеров зоны загрязнения почв тяжелыми металлами в районах техногенного влияния. В первом приближении рассмотрено влияние на концентрацию металлов в верхнем слое почвы следующих процессов: поступление элемента на поверхность, вынос с поверхностным водным стоком, миграция по почвенному профилю, отчуждение с урожаем, испарение. Например, составлен прогноз дальности распространения металлов в ландшафте на основе экспериментально полученных параметров, характеризующих корнеобитаемый слой почвы определенной мощности по общему запасу металла и его части, вынесенной водным стоком, урожаем, испарением, с учетом скорости фонового и техногенного потоков металлов, зависящей от направления и скорости ветра. Например, согласно одной из моделей локального распределения металлов на территории Московской области при максимальной плотности техногенных потоков металлов  $0,45 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>2</sup> год, загрязнение среднесуглинистой почвы кадмием, выпадающим с этими потоками, будет происходить на площади радиусом

не менее 26 км, а загрязнение свинцом — в радиусе не менее 17 км.

Составляются модели сохранения в почве остаточных количеств пестицидов. Например, на основе влияния ряда факторов (структура пестицида, его физические свойства, условия применения пестицида, тип почвы, климатические факторы, покровная культура) на превращения пестицида (сорбция, испарение, транслокация, абиотическая деструкция, микробиологические превращения) вычислен прогнозируемый период полураспада линдана в различных почвах. Для дерново-подзолистой, лугово-глеевой, серой лесной, черноземовидной почв рассчитанное значение его составило 20–70 дней, фактическое значение этого показателя колебалось от 27 до 64 дней.

Методология экологического мониторинга совершенствуется. Получены новые подтверждения того, что для успешного ведения локального и регионального мониторинга и прогноза изменения состояния почв целесообразно ландшафтно-экологическое районирование с выделением ареалов основных негативных процессов по видам и степени их воздействия на почвы, особенно сельскохозяйственного назначения.

Прогнозирование состояния экосистемы глобальных масштабов гораздо сложнее, такие прогнозы правильнее называть гипотезами. Нередко они оказываются неутешительными, как, например, прогноз сохранения остатков ДДТ в биосфере при разных сценариях. И при продолжении его применения, при его ограничении или запрещении препарат в биосфере сохраняется и распространение его остается опасным для живых организмов.

Все убедительнее звучит предположение о глобальном потеплении на планете, обусловленном техногенным воздействием. В этих условиях важны решения международного сообщества регулировать этот процесс. Например, решения Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата все шире поддерживаются странами.

Развитие методов экологического мониторинга отстает от развития теории мониторинга, что обусловлено сложностью механизмов взаимодействия компонентов экосистемы и соответственно методов получения их количественных оценок. Но и те методы мониторинга, которые были разработаны и использованы в последнюю четверть уходящего



века, показывают, что нарушения в состоянии биосферы происходят как на локальном, так и на глобальном уровнях, что эти нарушения могут представлять реальную угрозу жизни на планете. Экологический мониторинг позволил получить адекватную характеристику состояния экосистемы, которая может быть основой улучшения ситуации техническими средствами. Но устранить или хотя бы снизить вероятность глобального экологического кризиса может только сознательное решение человечества изменить свои взаимоотношения с окружающей средой. Эта проблема лежит не только в области технологии, но и в области психологии и идеологии людей.

## 16.2. Выбор стратегии выживания человечества

Человечество не впервые столкнулось с проблемой выбора стратегии жизни, ранее ему тоже приходилось радикально перестраивать свой образ жизни. Академик Н.Н. Моисеев дал исторический анализ развития этой проблемы. Человечество, как часть биосферы, имеет исключительное положение на планете. В отличие от других живых организмов оно не имеет собственной экологической ниши. Его ниша — вся планета. Человечество взаимодействует с биосферой как с единым целым. Для собственного развития и сохранения оно должно вписываться в естественные циклы биосферы как той экологической ниши, которую оно занимает.

Монопольное положение в биосфере Человек занял не сразу. По Н.Н. Моисееву, развитие всего живого протекает по общему закону: если какой-то вид в экологической нише становится монополистом, он тем самым нарушает равновесие в этой нише. Радикальное нарушение естественного круговорота веществ в экологической нише ведет к двум вариантам возможных последствий. Согласно одному из них, вид-монополист деградирует, в результате чего утрачивает свое монопольное положение, возможно, даже гибнет. Согласно другому варианту, сама экологическая ниша под влиянием вида-монополиста стихийным образом настолько глубоко меняется, что ведет к качественному изменению и ее обитателя. У вида-монополиста появляются новые черты (биологические и общественные), которые позволяют ему адаптироваться к новым условиям жизни. Таким образом этот вид может сохранить свое монопольное положение до нового кризиса.

История развития человечества подтверждает верность этой теории. Древний человек, как и другие живые организмы, имел свою экологическую нишу: он добывал средства к существованию охотой. 10–12 тысяч лет тому назад, совершенствуя орудия охоты, создав метательное оружие и овладев огнем, человек выделился из биосферы. Он значительно расширил свою экологическую нишу, стал в ней монополистом, но тем самым заложил основы своего первого общепланетарного экологического кризиса. Уничтожив крупных животных, составлявших основу питания, люди стали на грани гибели, население планеты сократилось в это время по крайней мере в 10 раз. Чтобы уцелеть и не исчезнуть, как другие биологические виды, люди коренным образом изменили свой образ жизни, они занялись земледелием, скотоводством, стихийно создав тем самым новую экологическую нишу. На такую перестройку Человеку потребовались века.

После неолитического кризиса Человек стал жить по иному, чем другие живые существа, законам. Он стал активно вмешиваться в круговорот веществ, вовлекать в хозяйственное использование вещества, накопленные былыми биосферами: ископаемые углеводороды, железо и другие полезные ископаемые, создавать искусственные биогеохимические циклы химических веществ. Сегодня Человек добрался до тех энергетических ресурсов, которые появились на Земле в самый ранний период ее существования, как небесного тела, до запасов ядерной энергии. Одним из свидетельств колоссального монополизма Человека и его противопоставления природе может быть лозунг В.И. Мичурина, у которого еще недавно было так много сторонников: «Мы не можем ждать милости от Природы, взять их у нее наша задача».

В настоящее время есть все основания сказать, что человечество стоит на пороге нового кризиса, не менее масштабного, чем древний, но более опасного. В древние времена утверждение новых форм в развитии общества могло развиваться хаотично. Сейчас, когда люди владеют ядерным оружием и другими мощными средствами массового уничтожения, стихийный общепланетарный процесс недопустим. В этих условиях стихийное создание новой экологической ниши неизбежно будет сопровождаться борьбой за природные ресурсы, жизненно необходимые людям, и может привести к их массовой гибели.

Нет сомнений, что человек обречен на монополизм. Спасение его только в том, что человек — разумное существо. Коллективный разум должен обеспечить его осознанные действия, направленные на устранение угрозы, которую он сам создал. Человек имеет возможность перестроить свою экологическую нишу, свой образ жизни, утвердить новую мораль, новую нравственность, создать такие нормы поведения, которые приведут в соответствие деятельность человечества с развитием биосферы. Об этом еще в 1937—1938 годах писал В.И. Вернадский в книге «Научная мысль как планетное явление».

Стихийному процессу человек должен противопоставить сознательную альтернативу. Специалисты рассматривают ряд полярных вариантов. Один состоит в предложении создать целиком искусственную цивилизацию на нашей планете или вне ее, независимую от состояния биосферы, где жизнь человека будет определяться им же самим созданными условиями. Идея об автотрофности человека высказывалась еще К.Э. Циолковским. Теория эта совсем недавно воспринималась как идеалистическая, ибо человек рожден биосферой и вне биосферы существовать вряд ли может. Но успехи, достигнутые за последние десятилетия в области космонавтики, средств связи, компьютерной техники, геной инженерии позволяют иначе относиться к возможностям Человека.

Обсуждается идея создания новых поселений в локальных участках (в заповедниках, в старых монастырях, на островах, удаленных от территориальных вод и экономических зон), где были бы созданы условия, благоприятные для жизни людей. Новая жизнь должна стать привлекательной, что должно привести к росту числа таких зон.

Согласно другой идее, человек должен суметь вписаться в веками созданные естественные циклы веществ на планете, стараясь их не нарушать. Но путь «назад к Природе» сейчас тоже маловероятен. Современный человек не откажется от завоеваний технического прогресса. Невозможно представить добровольное снижение существующего уровня потребления энергии обществом, даже несмотря на угрозу полной утраты ее невозобновляемых источников. Сейчас, для того чтобы Человек мог вписаться в уже существующие геохимические циклы, нужно потребление энергии сократить не менее чем в 10 раз. Это предположение основано на том, что современные потреб-

ности человечества в энергии могут быть покрыты за счет возобновляемых источников энергии только на 10–12 %.

Экологические проблемы имеют общепланетарный масштаб, они не знают границ и не являются узконациональным явлением. Обсуждению проблем устойчивости планеты, сохранения и выживания ее обитателей была посвящена Международная конференция ООН по окружающей среде и развитию, которая проходила в 1992 году в Рио-де-Жанейро. Конференцией было признано, что одна из важнейших экологических проблем современного развития общества состоит в излишне высоком уровне его потребления. Об этом говорят следующие цифры. Три четверти важнейших природных ресурсов планеты потребляются странами, в которых проживает лишь одна четверть населения Земли. Четверть населения планеты, жителей высокоразвитых и богатых стран, потребляет 48 % зерновых культур, железа и стали 80 %, химикалий 85 %, автомобилей 92 %, минеральных удобрений 60 %, бумаги 81 %, меди и алюминия 86 % от общего их количества, производимого в мире. Используя в среднем 75 % мировых энергоресурсов, богатые страны выбрасывают в окружающую среду 70–80 % всех производимых планетой отходов.

Соотношение использования природных ресурсов между богатыми и бедными странами от года к году меняется в пользу богатых стран: в 1960 году оно составляло 20:1, в 1980-м — 46:1, в 1990-м — 60:1. В связи с этим высказывается идея о предотвращении экологической катастрофы на планете путем снижения уровня потребления богатыми странами природных ресурсов. Например, Программа «Устойчивые Нидерланды» декларирует:

- нельзя потреблять больше возобновляемых источников сырьевых материалов (сельскохозяйственные культуры, лес, рыба), чем можно их получить, не нанося ущерба экологии;
- невозобновляемые сырьевые материалы можно использовать только в замкнутых циклах;
- объем загрязнения химическими веществами не должен превышать величины, с которой может справиться окружающая среда (это относится, например, к загрязнению диоксидом углерода).

Проблема в целом выглядит трудноразрешимой. Во-первых, потому что для создания экологического равновесия необходимо снижение объемов производства, а эконо-

мические интересы требуют его повышения. Во-вторых, подобного рода планы неизбежно связаны с перераспределением природных ресурсов, что само по себе представляет большую опасность для человечества.

Время, прошедшее после конференции в Рио-де-Жанейро, показало, что мир пока что неспособен создать экономику, которая гарантировала бы безопасность окружающей среды. Человечество ни экономически, ни духовно не готово к решающей перестройке своего образа мысли и действия. Для этого Человек должен изменить прежде всего самого себя, свою жизненную философию, свои потребности, свои институты. Сохранение биосферы возможно при условии совместной эволюции биосферы и человека, при так называемой коэволюции их. Такая коэволюция требует от человека новых принципов жизни, коренной перестройки самого его бытия, смены стандартов и идеалов. Нужно полностью отойти от иллюзии, что экологические проблемы — это чисто технические трудности и их можно преодолеть частными практическими приемами. Разработка и внедрение безотходных технологий, локальное сохранение природной среды — это очень важные с экологической точки зрения задачи, но явно недостаточные. Необходимы радикальные перестройки в идеологии человеческого общества, которые требуют большего времени, чем технические или экономические.

Тем временем контроль за состоянием биосферы должен проводиться регулярно, планомерно, повсеместно. Необходимо максимально надежно, на научной основе выявить реальные условия выживания человека как биологического вида, определить границы его безопасности, выход за которые представляет собой угрозу для его сохранения. Выполнение этих задач призван обеспечить экологический мониторинг, только он позволит получить адекватное представление о состоянии окружающей природной среды.

# ЛИТЕРАТУРА

## Основная литература

1. *Вернадский В.И.* Геохимическая деятельность человека // Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. С. 257–258.
2. *Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989. 226 с.
3. *Виноградов А.П.* О генезисе биогеохимических провинций // Труды Биогеохимической лаборатории АН СССР. 1960. Т. 11. С. 15–28.
4. *Герасимов И.П.* Научные основы современного мониторинга окружающей среды // Изв. АН СССР. Сер. География. 1975. № 3. С. 13–25.
5. *Глазовская М.А.* Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость // Биохимические циклы в биосфере. М., 1976. С. 99–115.
6. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М., 1988. С. 324.
7. *Деградация и охрана почв* / Отв. ред. Г.В. Добровольский. М.: Изд-во МГУ, 2002. 651 с.
8. *Добровольский Г.В., Орлов Д.С., Гришина Л.А.* Принципы и задачи почвенного мониторинга // Почвоведение. 1983. № 11. С. 23–34.
9. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 261 с.
10. *Дювиньо П., Танг М.* Биосфера и место в ней человека. М.: Прогресс, 1968. 185 с.
11. *Звягинцев Д.Г.* Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 203 с.
12. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометиздат, 1984. С. 375.
13. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология: Очерки. М.: Наука, 1974. С. 300.
14. *Ковда В.А.* Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. М.: Наука, 1981. 181 с.
15. *Кузнецов М.С., Глазунов Г.П.* Эрозия и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1996. 333 с.
16. *Моисеев Н.Н.* Судьбы цивилизации. Путь разума. М.: Изд-во МНЭПУ, 1998. 225 с.
17. *Одум Ю.* Основы экологии. М., 1986. Т. 2. 376 с.

18. *Опекунов А.Ю.* Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2006. 260 с.

19. *Почва, город, экология* / Отв. ред. Г.В. Добровольский. М., 1977. 319 с.

20. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование. М.: Мысль, 1990. 638 с.

21. *Розанов Б.Г., Таргульян В.О., Орлов Д.С.* Глобальные тенденции изменения почв и почвенного покрова // Почвоведение. 1989. № 5. С. 81–96.

22. *Структурно-функциональная роль почвы в биосфере* / Отв. ред. Г.В. Добровольский. М., 1999. 312 с.

### Дополнительная литература

1. *Беспамятных Г.П., Кротов А.Ю.* Предельно допустимые концентрации химии веществ в окружающей среде: Справочник. Л., 1985. С. 528.

2. *Вернадский В.И.* Биосфера. Л., 1926.

3. *Глазовская М.А.* Принципы классификации почв по их устойчивости к химическому загрязнению // Земельные ресурсы мира, их использование и охрана. М., 1978. С. 85–89.

4. *Глазовская М.А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенной нагрузке. М.: Изд-во МГУ, 1997. С. 102.

5. *Государственный доклад о состоянии окружающей среды РФ в 2003 году.* М.: Центр Международных проектов, 2004. 667 с.

6. *Звягинцев Д.Г.* Почва и микроорганизмы. М., 1987. 230 с.

7. *Келлер А.А., Кувакин В.И.* Медицинская экология. СПб.: Петрос, 1998. С. 255.

8. *Кирюшин В.И.* Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. 1993. Препринт. 64 с.

9. *Ковга В.А.* Биогеохимия почвенного покрова. М., 1985. 262 с.

10. *Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Саговникова Л.К.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. С. 180.

11. *Методические указания по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами* / Под

ред. Н.Г. Зырина, С.Г. Малахова. М.: Гидрометеоздат, 1981. С. 106.

12. *Мотузова Г.В.* Почвенно-химический экологический мониторинг. М.: Изд-во МГУ, 2001. 84 с.

13. *Мотузова Г.В.* Принципы и методы почвенно-химического мониторинга. М.: Изд-во МГУ, 1988. 98 с.

14. *Мотузова Г.В., Карпова Е.А., Малинина М.С., Чичева Т.Д.* Фоновый мониторинг почв. М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 98.

15. *Овчинникова И.Н.* Экологический риск и загрязнение почв. М., 2003. 363 с.

16. *Опустынивание и деградация почв: Материалы Международной научной конференции.* М., 1999. С. 74–95.

17. *Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. С. 286.

18. *Почвенно-экологический мониторинг / Под ред. Д.С. Орлова, В.Д. Васильевской.* М.: Изд-во МГУ, 1994. С. 270.

19. *Розанов А.Б., Розанов Б.Г.* Экологические последствия антропогенных изменений почв // Итоги науки и техники. Почвоведение и агрохимия. М., 1990. Т. 7. С. 151.

20. *Соколова Т.А., Мотузова Г.В., Малинина М.С., Обуховская Т.Д.* Химические основы буферности почв. М.: Изд-во МГУ, 1991. С. 96.

21. *Ферсман А.Е.* Геохимия. Т. 1. Л.: ОНТИ, 1937. 260 с.

22. *Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова и др.* М., 1991.

23. *Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / Под ред. Н.Г. Зырина.* М.: Изд-во МГУ, 1985. 204 с.



# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Определение степени деградации почв и земель  
(по Яковлеву и др., 2001)

| Показатели  | Степень деградации |          |          |           |       |
|---|--------------------|----------|----------|-----------|-------|
|   | 0                  | 1        | 2        | 3         | 4     |
| 1   | 2                  | 3        | 4        | 5         | 6     |
| Мощность абиотического наноса, см   | <2                 | 2–10     | 10–20    | 20–40     | >40   |
| Глубина провалов, см, относительно поверхности (без разрыва сплошности)               | <20                | 20–40    | 40–100   | 100–200   | >200  |
| Содержание физической глины, уменьшение на %  | <5                 | 5–15     | 15–25    | 25–32     | >32   |
| Равновесная плотность сложения пахотного слоя, уменьшение в % от исходного*           | <10                | 10–20    | 20–30    | 30–40     | >40   |
| Стабильная структурная пористость (меагрегатная без учета трещин), см <sup>3</sup> /г | >0,2               | 0,2–0,1  | 0,1–0,05 | 0,05–0,02 | <0,02 |
| Текстурная пористость (внутриагрегатная), см <sup>3</sup> /г                          | >0,3               | 0,3–0,25 | 0,25–0,2 | 0,2–0,17  | <0,17 |
| Коэффициент фильтрации, м/сут.  | >1,0               | 1,0–0,3  | 0,3–0,1  | 0,1–0,01  | <0,01 |
| Каменистость, % покрытия  | <5                 | 5–15     | 15–35    | 35–70     | >70   |
| Мощность почвенного профиля (A+B), уменьшение в % от исходного*                       | <3                 | 3–25     | 25–50    | 50–75     | >75   |
| Запасы гумуса в A+B, % от исходного*  | <10                | 10–20    | 20–40    | 40–80     | >80   |

Продолжение табл.

|   |      |           |           |           |      |
|---|------|-----------|-----------|-----------|------|
| Содержание Mn, Co, Mo, B, Cu, Fe), уменьшение, в %                              | <10  | 10 – 20   | 20 – 40   | 40 – 80   | >80  |
| Содержание подвижного фосфора, уменьшение в % от средней степени обеспеченности | <10  | 10 – 20   | 20 – 40   | 40 – 80   | >80  |
| Содержание обменного калия, уменьшение в % от средней степени обеспеченности    | <10  | 10 – 20   | 20 – 40   | 40 – 80   | >80  |
| Кислотность (рН-сол.), уменьшение в % к средней                                 | <10  | 10 – 15   | 15 – 20   | 20 – 25   | >25  |
| Потеря почвенной массы, т/га/год  | <5   | 5 – 25    | 25 – 100  | 100 – 200 | >200 |
| Площадь обнаженной почвообразующей (С) или подстилающей (D) породы, % от общей  | <2   | 2 – 5     | 5 – 10    | 10 – 25   | >25  |
| Площадь эродированных почв, увеличение на % в год                               | <0,5 | 0,5 – 1,0 | 1,0 – 2,0 | 2,0 – 5,0 | >5,0 |
| Глубина размывов и водороев относительно поверхности, см                        | <20  | 20 – 40   | 40 – 100  | 100 – 200 | >200 |
| Расчлененность территории оврагами, км/км <sup>2</sup>                          | <0,1 | 0,1 – 0,3 | 0,3 – 0,7 | 0,7 – 2,5 | >2,5 |
| Дефляционный нанос неплодородного слоя, см                                      | <2   | 2 – 10    | 10 – 20   | 20 – 40   | >40  |
| Площадь выведенных из землепользования угодий, % от общей                       | <10  | 10 – 30   | 30 – 50   | 50 – 70   | >70  |

Окончание табл.

|  |       |            |           |           |      |
|--|-------|------------|-----------|-----------|------|
| Проективное покрытие пастбищной растительности, % от зонального                  | >90   | 90 – 70    | 70 – 50   | 50 – 10   | <10  |
| Площадь деградированных пастбищ, скорость роста % в год                          | <0,25 | 0,25 – 1,0 | 1,0 – 3,0 | 3,0 – 5,0 | >5,0 |
| Площадь подвижных песков, % от общей   | <2    | 2 – 5      | 5 – 15    | 15 – 25   | >25  |
| Увеличение площади подвижных песков, % в год                                     | <0,25 | 0,25 – 1,0 | 1,0 – 2,0 | 2,0 – 4,0 | >4,0 |
| Содержание суммы токсичных солей в верхнем плодородном слое, % (с участием соды) | <0,1  | 0,1 – 0,2  | 0,2 – 0,3 | 0,3 – 0,5 | >0,5 |
| Залегание пресных (<3 г/л) почвенно-грунтовых вод, м (в гумидной зоне)           | >1,0  | 1,0 – 0,8  | 0,8 – 0,6 | 0,6 – 0,3 | <0,3 |
| Залегание пресных (<3 г/л) почвенно-грунтовых вод, м (в степной зоне)            | >4    | 4 – 3      | 3 – 2     | 2 – 1     | <1   |
| Залегание минерализованных (>3 г/л) почвенно-грунтовых вод, м (в степной зоне)   | >7    | 7 – 5      | 5 – 3     | 3 – 2     | <2   |
| Затопление (поверхностное переувлажнение), мес.                                  | <3    | 3 – 6      | 6 – 12    | 12 – 18   | >18  |
| Сработка торфа, мм/год   | <1    | 1 – 2,5    | 2,5 – 10  | 10 – 40   | >40  |

\* За исходное принимается состояние недеградированного аналога (нулевая степень деградации)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1

### Предельно допустимые концентрации химических веществ в почвах

| Элемент, химическое вещество               | Величина ПДК, мг/кг<br>почвы |
|--|------------------------------|
| <b>Валовые формы</b>                       |                              |
| Ванадий                                    | 150                          |
| Марганец                                   | 1500                         |
| Марганец + ванадий                         | 1000 + 100                   |
| Мышьяк                                     | 2,0                          |
| Олово                                      | 4,5                          |
| Ртуть                                      | 2,1                          |
| Свинец                                     | 32                           |
| Сурьма                                     | 4,5                          |
| Хром (+3)                                  | 90                           |
| Сернистые соединения*                      | 160                          |
| Сероводород                                | 0,4                          |
| Нитраты                                    | 130                          |
| <b>Водорастворимая форма</b>               |                              |
| Фтор                                       | 10                           |
| <b>Подвижные формы**</b>                   |                              |
| Свинец                                     | 6                            |
| Никель                                     | 4                            |
| Хром                                       | 6                            |
| Медь                                       | 3                            |
| Цинк                                       | 23                           |
| Кобальт                                    | 5                            |
| Марганец: для черноземов                   | 700                          |
| для дерново-подзолистых почв<br>при pH 4,0 | 300                          |
| pH 5,1 - 6,0                               | 400                          |
| pH 6,0                                     | 500                          |

\* В пересчете на серу

\*\* Подвижные формы меди, никеля и цинка извлекают из почвы аммонийно-ацетатным буферным раствором с pH 4,8; кобальта — аммонийно-натриевым буферным раствором с pH 3,5 для сероземов и pH 4,7 для дерново-подзолистых почв

Таблица 2

**Предельно допустимые концентрации органических соединений в почвах**

| Наименование вещества    | Величина ПДК, мг/кг почвы | Наименование вещества              | Величина ПДК, мг/кг почвы |
|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Агелон                   | 0,15                      | Изопропилбензол                    | 0,5                       |
| Акрекс                   | 1,0                       | Изопропилбензол + альфаметилстирол | 0,5                       |
| Актелик                  | 0,5                       | Иодофенфос                         | 0,5                       |
| Актелик                  | 0,1                       | Карбофос                           | 2,0                       |
| Альфаметилстирол         | 0,5                       | Кельтан                            | 1,0                       |
| Атразин                  | 0,5                       | Ксилолы (орто-, мета-, пара-)      | 0,3                       |
| Ацетальдегид             | 10,0                      | Купроцин                           | 1,0                       |
| Базудин                  | 0,1                       | Линурон                            | 1,0                       |
| Байлегон + метаболит     | 0,03                      | Мезоранил                          | 0,1                       |
| Байфидан                 | 0,02                      | Метатион                           | 1,0                       |
| Банвел Д                 | 0,25                      | Метафос                            | 0,1                       |
| Бенз(а)пирен             | 0,02                      | Мирал                              | 0,03                      |
| Бензин                   | 0,1                       | Монурон                            | 0,3                       |
| Бензол                   | 0,3                       | Отходы флотации угля (ОФУ)         | 3000                      |
| Бетанол                  | 0,25                      | Пиримор                            | 0,3                       |
| Валексон                 | 1,0                       | Политриазин                        | 0,1                       |
| Гардона                  | 1,4                       | Полихлоркамфен                     | 0,5                       |
| ГХЦГ (линдан)            | 0,1                       | Полихлорпинен                      | 0,5                       |
| ГХЦГ (гексахлоран)       | 0,1                       | Прометрин                          | 0,5                       |
| ГХБД (гексахлорбутадиен) | 0,5                       | Пропанид                           | 1,5                       |
| Гептахлор                | 0,05                      | Ридомил                            | 0,05                      |
| Гетерофос                | 0,05                      | Ринкорд                            | 0,02                      |
| Глифосат                 | 0,5                       | Ронит                              | 0,8                       |
| Далалон                  | 0,5                       | Севин                              | 0,05                      |

Окончание табл. 2

|   |      |              |      |
|---|------|--------------|------|
| 2,4-Д-дихлорфеноксиуксусная кислота         | 0,1  | Семерон      | 0,1  |
| 2,4-Д-дихлорфенол                           | 0,05 | Симазин      | 0,2  |
| 2,4-Д-аминная соль                          | 0,25 | Сумицидин    | 0,02 |
| Бутиловый эфир группы 2,4-Д                 | 0,15 | Стирол       | 0,1  |
| Кротилловый эфир группы 2,4-Д               | 0,15 | Толуол       | 0,3  |
| Октиловый эфир группы 2,4-Д                 | 0,15 | Фенурон      | 1,8  |
| Малолетучие эфиры группы 2,4-Д              | 0,15 | Фозалон      | 0,5  |
| 2М-4ХП                                      | 0,4  | Фосфамид     | 0,3  |
| 2М-4ХМ                                      | 0,6  | Формальдегид | 7,0  |
| ДДТ и его метаболиты (суммарные количества) | 0,1  | Фталофос     | 0,1  |
| Децис                                       | 0,01 | Фурадан      | 0,01 |
| Дилор                                       | 0,5  | Фурфуrol     | 3,0  |
| Диурон                                      | 0,5  | Хлорофос     | 0,5  |
| Дурсбан                                     | 0,2  | Хлорамп      | 0,05 |
| Зенкор                                      | 0,2  | Циклофос     | 0,03 |
| Изатрин                                     | 0,05 | Цинеб        | 0,2  |
|   |      | Энтам        | 0,9  |

Таблица 3

Ориентировочно допустимые концентрации пестицидов в почвах

| Наименование вещества | Величина ОДК, мг/кг почвы | Наименование вещества | Величина ОДК, мг/кг почвы |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Аббат                 | 0,6                       | Пирамин               | 0,7                       |
| Амбуш                 | 0,05                      | Гликтран              | 0,1                       |
| Амибен                | 0,5                       | Плондрел              | 0,15                      |
| Антио                 | 0,2                       | Поликарбацин          | 0,6                       |

Окончание табл. 3

|                       |      |                                |      |
|-----------------------|------|--------------------------------|------|
| Арозин                | 0,7  | Полихлорбифенилы<br>(суммарно) | 0,06 |
| Байлетон              | 0,4  | Препарат А-1                   | 0,5  |
| Байтекс               | 0,4  | Промед                         | 0,01 |
| Бенлат                | 0,1  | Рамдон                         | 0,2  |
| Биферан               | 0,5  | Реглон                         | 0,2  |
| БМК                   | 0,1  | Ровраль                        | 0,15 |
| Бромофос              | 0,2  | Сангор                         | 0,04 |
| Бронокот              | 0,5  | Сапроль                        | 0,03 |
| Гексахлорбензол       | 0,03 | Солан                          | 0,6  |
| Геметрел              | 0,5  | Стомп                          | 0,15 |
| Гербан                | 0,7  | Сульфазин                      | 0,1  |
| Гидрел                | 0,5  | Сутан                          | 0,6  |
| Дактал                | 0,1  | Тепоран                        | 0,4  |
| ДДВФ                  | 0,1  | Тербацил                       | 0,4  |
| Декстрел              | 0,5  | Тиллам                         | 0,6  |
| Дигидрел              | 0,5  | Тиодан                         | 0,1  |
| Дифенамид             | 0,25 | Топсин-М                       | 0,4  |
| Дропп                 | 0,05 | Тетрахлорбифенилы              | 0,06 |
| Зеллек                | 0,15 | Трефлан                        | 0,1  |
| Кампозан              | 0,5  | Триаллат                       | 0,05 |
| Каптан                | 1,0  | Трихлорбифенилы                | 0,03 |
| Карагард              | 0,4  | ТХАН                           | 0,2  |
| Которан               | 0,03 | ТХМ                            | 0,1  |
| Ленацил               | 1,0  | Фтапан                         | 0,3  |
| Лонтрел               | 0,1  | Хлорат магния                  | 1,0  |
| Метазин               | 0,1  | Хостаквик                      | 0,2  |
| Метоксихлор           | 1,6  | Цианокс                        | 0,4  |
| Морфонол              | 0,15 | Цидиал                         | 0,4  |
| Нитропирин + 6<br>ХПК | 0,2  | Этафос                         | 0,1  |
| Нитрофор              | 0,2  | Зупарен                        | 0,2  |
| Офунак                | 0,05 | Ялан                           | 0,9  |
| Пентахлорбифе-<br>нил | 0,1  |                                |      |

Таблица 4

**Показатели уровня загрязнения земель химическими веществами**

| Элемент, соединение               | Содержание (мг/кг), соответствующее уровню загрязнения |                    |                     |                     |                           |
|-----------------------------------|--|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
|                                   | 1-й уровень допустимый                                 | 2-й уровень низкий | 3-й уровень средний | 4-й уровень высокий | 5-й уровень очень высокий |
| <b>Неорганические соединения*</b> |  |                    |                     |                     |                           |
| Кадмий                            | < ПДК  | от 1 до 3 ПДК      | от 3 до 5           | от 5 до 20          | > 20                      |
| Свинец                            | < ПДК  | от ПДК до 125      | от 125 до 250       | от 250 до 600       | > 600                     |
| Ртуть                             | < ПДК  | от ПДК до 3        | от 3 до 5           | от 5 до 10          | > 10                      |
| Мышьяк                            | < ПДК  | от ПДК до 20       | от 20 до 30         | от 30 до 50         | > 50                      |
| Цинк                              | < ПДК  | от ПДК до 500      | от 500 до 1500      | от 1500 до 3000     | > 3000                    |
| Медь                              | < ПДК  | от ПДК до 200      | от 200 до 300       | от 300 до 500       | > 500                     |
| Кобальт                           | < ПДК  | от ПДК до 50       | от 50 до 150        | от 150 до 300       | > 300                     |
| Никель                            | < ПДК  | от ПДК до 150      | от 150 до 300       | от 300 до 500       | > 500                     |
| Молибден                          | < ПДК  | от ПДК до 40       | от 40 до 100        | от 100 до 200       | > 200                     |
| Олово                             | < ПДК  | от ПДК до 20       | от 20 до 50         | от 50 до 300        | > 300                     |
| Барий                             | < ПДК  | от ПДК до 200      | от 200 до 400       | от 400 до 2000      | > 2000                    |
| Хром                              | < ПДК  | от ПДК до 250      | от 250 до 500       | от 500 до 800       | > 800                     |
| Ванадий                           | < ПДК  | от ПДК до 225      | от 225 до 300       | от 300 до 350       | > 350                     |
| Фтор водорастворимый              | < ПДК  | от ПДК до 15       | от 15 до 25         | от 25 до 50         | > 50                      |



Окончание табл. 4

| Органические соединения   |       |                 |                 |                 |        |
|---|-------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| Хлорированные углеводороды (в том числе хлорсодержащие пестициды ДДТ, ГХЦГ, 2,4,-Д и др.) | < ПДК | от ПДК до 5     | от 5 до 25      | от 25 до 50     | > 50   |
| Хлорфенолы  | < ПДК |                 | от 1 до 5       | от 5 до 10      | > 10   |
| Фенолы  | < ПДК |                 | от 1 до 5       | от 5 до 10      | > 10   |
| Полихлорбифенилы  | < ПДК |                 | от 2 до 5       | от 5 до 10      | > 10   |
| Циклогексан   | < ПДК |                 | от 6 до 30      | от 30 до 60     | > 60   |
| Пиридины  | < ПДК |                 | от 0,1 до 2     | от 2 до 20      | > 20   |
| Тетрагидрофуран   | < ПДК |                 |                 |                 | > 40   |
| Стирол  | < ПДК | от ПДК до 5     | от 5 до 20      | от 20 до 50     | > 50   |
| Нефть и нефтепродукты   | < ПДК | от 1000 до 2000 | от 2000 до 3000 | от 3000 до 5000 | > 5000 |
| Бенз(а)пирен  | < ПДК | от ПДК до 0,1   | от 0,1 до 0,25  | от 0,25 до 0,5  | > 0,5  |
| Бензол  | < ПДК | от ПДК до 1     | от 1 до 3       | от 3 до 10      | > 10   |
| Толуол  | < ПДК | от ПДК до 10    | от 10 до 50     | от 50 до 100    | > 100  |
| Альфаметилстирол  | < ПДК | от ПДК до 3     | от 3 до 10      | от 10 до 50     | > 50   |
| Ксилолы (орто-, мета-, пара-)   | < ПДК | от ПДК до 3     | от 3 до 30      | от 30 до 100    | > 100  |
| Нитраты   | < ПДК | —               | —               | —               | —      |
| Сернистые соединения**  | < ПДК | от ПДК до 180   | от 180 до 250   | от 250 до 380   | > 380  |

\* ПДК или ОДК; при отсутствии ПДК (ОДК) неорганических соединений за ОДК принимается удвоенное региональное фоновое содержание элементов в незагрязненной почве

\*\* В пересчете на серу

Таблица 5

Коэффициенты ( $K_z$ ) для расчета размеров ущерба в зависимости от степени загрязнения земель химическими веществами

| Уровень загрязнения | Степень загрязнения земель | $K_z$ |
|---------------------|----------------------------|-------|
| 1                   | Допустимая                 | 0     |
| 2                   | Слабая                     | 0,3   |
| 3                   | Средняя                    | 0,6   |
| 4                   | Сильная                    | 1,5   |
| 5                   | Очень сильная              | 2,0   |

Таблица 6

Коэффициенты ( $K_z$ ) экологической ситуации и экологической значимости территории

| Экономические районы Российской Федерации | $K_z$ |
|---|-------|
| Северный                                  | 1,4   |
| Северо-Западный                           | 1,3   |
| Центральный                               | 1,6   |
| Волго-Вятский                             | 1,5   |
| Центрально-Черноземный                    | 2,0   |
| Поволжский                                | 1,9   |
| Северо-Кавказский                         | 1,9   |
| Уральский                                 | 1,7   |
| Западно-Сибирский                         | 1,2   |
| Восточно-Сибирский                        | 1,1   |
| Дальневосточный                           | 1,1   |

Таблица 7

Коэффициенты ( $K_z$ ) для расчета ущерба в зависимости от глубины загрязнения земель

| Глубина загрязнения земель, см | $K_z$ |
|--------------------------------|-------|
| 0 – 20                         | 1,0   |
| 0 – 50                         | 1,3   |
| 0 – 100                        | 1,5   |
| 0 – 150                        | 1,7   |
| 0 – > 150                      | 2,0   |

Таблица 8

**Оценка степени загрязнения земель химическими веществами по суммарному показателю загрязнения Zc**

| Значение показателя Zc | Степень загрязнения земель | Коэффициенты (K <sub>c</sub> ) |
|------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| < 2                    | Допустимая                 | 0                              |
| 2 – 8                  | Слабая                     | 0,3                            |
| 8 – 32                 | Средняя                    | 0,6                            |
| 32 – 64                | Сильная                    | 1,0                            |
| > 64                   | Очень сильная              | 2,0                            |

Таблица 9

**Фоновое содержание валового содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах (мг/кг)**

| Почвы                                       | Zn | Cd   | Pb | Hg   | Cu | Co | Ni | As  |
|---|----|------|----|------|----|----|----|-----|
| Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные   | 28 | 0,05 | 6  | 0,05 | 8  | 3  | 6  | 1,5 |
| Дерново-подзолистые суглинистые и глинистые | 45 | 0,12 | 15 | 0,10 | 15 | 10 | 30 | 2,2 |
| Серые лесные                                | 60 | 0,20 | 16 | 0,15 | 18 | 12 | 35 | 2,6 |
| Черноземы                                   | 68 | 0,24 | 20 | 0,20 | 25 | 15 | 45 | 5,6 |
| Каштановые                                  | 54 | 0,16 | 16 | 0,15 | 20 | 12 | 35 | 5,2 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

*к Порядку определения размеров  
ущерба от загрязнения земель  
химическими веществами*

### ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНЫХ И МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ И ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

#### Проведение обследования, пробоотбор

1. ГОСТ 17.4.3.01-83. «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб».
2. ГОСТ 17.4.4.02-84. «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа».
3. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Часть II. Нефтепродукты. Госкомгидромет, 1984.
4. Полевое обследование и картографирование уровня загрязнения почвенного покрова техногенными выбросами через атмосферу (Методические указания). ВАСХНИЛ, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1980.
5. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. Гидрометеоиздат, 1981.
6. РД 39-0147098-015-90. Инструкция по контролю за состоянием почв на объектах предприятий Миннефтепрома. Миннефтегазпром, 1989.
7. РД 52.18.156-93.\* Методические указания «Охрана природы. Почвы. Методы отбора представительных проб почвы и оценка загрязнения сельскохозяйственного угодья остаточными количествами пестицидов».
8. ГОСТ 17.4.1.02-83. «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения».
9. Методические указания по агрохимическому обследованию почв сельскохозяйственных угодий. Госагропром СССР, ЦИНАО, Москва, 1985.
10. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб.

\* Руководящие документы с индексацией 52.18 ... разработаны Роскомгидрометом.

*Методы определения*

1. ГОСТ 17.0.0.02-79. «Охрана природы. Почвы. Метрологическое обеспечение контроля загрязненности атмосферы поверхностных вод и почвы». Госстандарт, 1979.
2. РД 52.18.264-90. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли 2,4-Д в пробах почвы методом газожидкостной хроматографии».
3. Методические указания по определению тяжелых металлов в продуктах растениеводства. Минсельхоз России, ЦИНАО, 1992.
4. РД 52.18.166-89. Методические указания «Охрана природы. Почвы. Требования к способам извлечения пестицидов и регуляторов роста растений из проб почвы».
5. РД 52.18.286-91. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли водорастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом».
6. РД 52.18.289-90. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом».
7. РД 52.18.180-89. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли галоидорганических пестицидов п,п-ДДТ, п,п-ДДЭ, альфа-ГХЦГ, гамма-ГХЦГ, трифлуралина в пробах почв методом газожидкостной хроматографии».
8. РД 52.18.188-89. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли триазиновых гербицидов симазина и прометрина в пробах почвы методом газожидкостной хроматографии».
9. РД 52.18.310-92. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли фосфорорганических пестицидов паратион-метила, фозалона, диметоата в пробах почвы методом газожидкостной хроматографии».
10. РД 52.18.287-90. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли гербицида далапон-натрия в пробах почвы методом газожидкостной хроматографии».
11. РД 52.18.288-90. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли гербицида трихлорацетата натрия в пробах почвы методом газожидкостной хроматографии».

12. РД 52.18.188-89. Методические указания «Методика выполнения измерений массовой доли триазиновых гербицидов симазина и прометрина в пробах почвы методом газожидкостной хроматографии».
13. Перечень методик аналитического контроля. ЦСИ Минприроды России.

## ГЛОССАРИЙ

**Базовые наблюдения при ведении мониторинга земель** — исходные наблюдения, фиксирующие состояние объектов наблюдения на момент начала ведения мониторинга.

**Локальный мониторинг земель (Local monitoring of land)** — система наблюдений за состоянием земельного фонда, которые проводятся в границах территорий отдельных землевладений и землепользования.

**Мониторинг земель** — система наблюдения за состоянием земельного фонда для своевременного выявления изменений, их оценки, предупреждения и устранения последствий негативных процессов. Является составной частью мониторинга за состоянием окружающей природной среды.

**Мониторинг мелиорированных земель** — систематические наблюдения за состоянием мелиорированных земель, на основе которых выявляются происходящие изменения состояния мелиорированных земель и дается их оценка. Является составной частью государственной системы мониторинга земель.

**Мониторинг окружающей среды; мониторинг окружающей человека среды; экологический мониторинг** — система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени за состоянием окружающей природной среды и предупреждение о создающихся критических ситуациях, вредных и опасных для здоровья людей и других живых организмов. Различают базовый, глобальный, региональный и импактный мониторинги.

**Мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения** — составная часть государственного мониторинга земель, порядок проведения которого устанавливается земельным законодательством.

**Мониторинг химического загрязнения почвы (Chemical pollution monitoring of land)** — система регулярных наблюдений, включающая:

- наблюдения за фактическими уровнями загрязненности почвы химическими веществами;
- определение прогностических уровней;
- оценку последствий фактических и прогностических уровней загрязненности;
- выявление источников химического загрязнения почвы.

**Нормирование качества окружающей среды** — установление показателей и пределов, в которых допускается изменение этих показателей (для почв, воды, воздуха и т. д.).

**Нормативы качества (санитарно-гигиенические)** — предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ: предельно допустимый уровень (ПДУ) вредных физических воздействий (радиация, шум, вибрация, электромагнитные поля и т. д.).

**Нормативы воздействия (производственно-хозяйственный)** — предельно допустимый выброс (ПДВ) вредных веществ; предельно допустимый сброс (ПДС) вредных веществ.

**Нормативы комплексные** — предельно допустимая экологическая (антропогенная) нагрузка на окружающую среду.

**Оперативные наблюдения при ведении мониторинга земель (дежурные наблюдения при ведении мониторинга земель)** — систематические наблюдения, фиксирующие состояние объектов наблюдения на текущий момент.

**Периодические наблюдения при ведении мониторинга земель** — наблюдения, проводимые через определенный промежуток времени: месяц, год и т. д.

**Предельно допустимая концентрация (ПДК)** — количество загрязняющего вещества в окружающей среде (почве, воздухе, воде, продуктах питания), которое при постоянном или временном воздействии на человека не влияет на его здоровье и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

**Предельно допустимая концентрация в пахотном слое почвы (ПДКп)** — максимальная концентрация вредного вещества в верхнем пахотном слое почвы, которая не оказывает прямого или косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, плодородие почвы, ее самоочищающую способность, соприкасающиеся с ней среды и не приводит к накоплению вредных веществ в сельскохозяйственных культурах.

**Региональный мониторинг земель (Regional monitoring of land)** — система наблюдений за состоянием земельного фонда, охватывающего площадь в пределах региона с выделением земель, ограниченных административными границами территориальных округов.

**Ретроспективные наблюдения при ведении мониторинга земель** — наблюдения, проведенные до момента начала ведения мониторинга.



## СЛОВАРЬ

**Агроэкосистема** — сфера и результат взаимодействия почвы, сельскохозяйственных растений и человека, восполняющего в почвах потерю элементов питания, выносимых регулярно с урожаем.

**Антропогенная деградация почв** — необратимые изменения свойств почв, вызванные физическими, химическими или биотическими антропогенными воздействиями, которые превышают природную устойчивость почв и приводят к невозможности выполнения почвами их экологических функций.

**Базовые наблюдения при ведении почвенного мониторинга** — исходные наблюдения, фиксирующие состояние объектов наблюдения на момент начала ведения мониторинга.

**Бонитировка почв** — сравнительная оценка качества почв по их производительной способности, это специализированная генетико-производственная классификация почв, плодородие которых выражено в баллах.

**Загрязнение почв** — вид антропогенной деградации почв, при которой содержание химических веществ антропогенного происхождения превышает региональный фоновый уровень.

**Загрязняющие вещества** — вещества антропогенного происхождения, поступающие в окружающую среду в количествах, превышающих природный уровень поступления.

**Закисление почв** — загрязнение почв кислотными осадками, вызывающее увеличение кислотности почв.

**Категории земель** — назначение земель, понятие собирательное и условное.

**Мониторинг экологический** — система регулярного неограниченного в пространстве и времени контроля состояния экосистемы (на всех уровнях ее организации), который дает информацию о ее состоянии с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза изменения в будущем параметров окружающей среды, имеющих значение для человека.

**Мониторинг экологический почвенный** — одна из важнейших составляющих экологического мониторинга в целом, он направлен на выявление антропогенных изменений почв, которые могут в конечном итоге нанести вред здоровью человека или состоянию экосистемы.

**Мониторинг почвенный локальный** — система наблюдений за состоянием почв, подверженных локальному антропогенному воздействию в границах территорий отдельных землевладений и землепользования.

**Мониторинг почвенный региональный** — система наблюдений за состоянием почв, занимающих площадь в пределах региона.

**Мониторинг почвенный глобальный** — система наблюдений за состоянием почв фоновых территорий с целью оценки подверженности их загрязнению вследствие дальнего переноса химических веществ.

**Мониторинг почв, подверженных химическому загрязнению**, — система регулярных наблюдений, включающая: наблюдения за фактическими уровнями загрязненности почвы химическими веществами; определение прогностических уровней; оценку последствий фактических и прогностических уровней загрязненности; выявление источников химического загрязнения почвы.

**Нормирование экологическое** — установление показателей и пределов, в которых допускается изменение показателей состояния природных сред.

**Окружающая среда** (внешняя среда, природная среда, среда обитания) — природные тела и явления, с которыми живое вещество связано прямо или косвенно.

**Оперативные наблюдения при ведении почвенного мониторинга** — систематические наблюдения, фиксирующие состояние почв природных и техногенных ландшафтов на текущий момент.

**Опустынивание** — деградация экосистемы в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах, обусловленная совместным влиянием климата и деятельности человека.

**Периодические наблюдения при ведении почвенного мониторинга** — наблюдения за состоянием почв, проводимые через определенный промежуток времени: месяц, год и т. д.

**Пестициды** — химические вещества, предназначенные для уничтожения вредителей сельского хозяйства (сорняки, животные, микроорганизмы, водоросли).

**Предельно допустимое количество химических веществ (ПДК)** — количество загрязняющего вещества в окружающей среде (почве, воздухе, воде, продуктах питания), которое при постоянном или временном воз-

действию не влияет отрицательно на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у следующих поколений.

**Предельно допустимое количество вещества в пахотном слое почвы (ПДКп)** — максимальное количество химического вещества в верхнем пахотном слое почвы, которое не оказывает прямого или косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, плодородие почвы, ее самоочищающую способность, соприкасающиеся с ней среды и не приводит к накоплению вредных веществ в сельскохозяйственных культурах.

**Угодья земельные** — земли, которые фактически находятся в систематическом хозяйственном использовании.

**Экология** — наука об экосистемах, наука о взаимоотношениях между живыми организмами и окружающей средой (от греческого *oikos* — дом, жилище).

**Экосистема** — живые организмы и окружающая их среда, находящиеся в постоянной взаимосвязи.

**Эрозия почв** — совокупность взаимосвязанных процессов отрыва, переноса и отложения почвы поверхностным стоком временных водных потоков и ветром.

# СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>Предисловие</b> .....   | 3  |
| <b>Глава 1. Роль экологических проблем в современном обществе</b> .....          | 5  |
| 1.1. Понятие об экологии .....   | 5  |
| 1.2. Прямые и обратные связи природы и общества .....                            | 7  |
| 1.3. Учение В.И. Вернадского о ноосфере .....                                    | 12 |
| 1.4. Понятие об экологическом мониторинге .....                                  | 16 |
| <b>Глава 2. Место почвы в биосфере</b> .....                                     | 18 |
| 2.1. Экосистемные функции почвы .....  | 18 |
| 2.2. Утилитарные функции почвенного покрова .....                                | 21 |
| 2.3. Экологические функции городских почв .....                                  | 24 |
| 2.4. Особенности почвы как объекта мониторинга .....                             | 26 |
| <b>Глава 3. Почвенные ресурсы Российской Федерации</b> .....                     | 29 |
| 3.1. Географические закономерности структуры почвенного покрова РФ .....         | 29 |
| 3.2. Категории и угодья земель РФ .....  | 30 |
| <b>Глава 4. Антропогенная деградация почв</b> .....                              | 33 |
| 4.1. Понятие об антропогенной деградации почв .....                              | 33 |
| 4.2. Причины и виды антропогенной деградации почв .....                          | 34 |
| <b>Глава 5. Деградация физических свойств почв</b> .....                         | 39 |
| 5.1. Потери почв от водной и ветровой эрозии .....                               | 39 |
| 5.2. Водная эрозия почв .....  | 43 |
| 5.3. Ветровая эрозия почв .....  | 48 |
| 5.4. Переуплотнение почв .....   | 51 |
| 5.5. Переувлажнение почв .....   | 53 |
| <b>Глава 6. Деградация химических свойств почв</b> .....                         | 55 |
| 6.1. Дегумификация почв .....  | 55 |
| 6.2. Потеря почвами элементов питания .....                                      | 58 |
| 6.3. Загрязнение почв .....  | 61 |
| 6.3.1. Общие представления о загрязняющих веществах .....                        | 61 |
| 6.3.2. Виды загрязняющих веществ, их источники и влияние на состояние почв ..... | 65 |

|  |            |
|--|------------|
| 6.3.3. Загрязнение окружающей среды оксидами углерода, серы, азота и вызванные ими нарушения экологического состояния почв ..... | 66         |
| 6.3.4. Загрязнение почв металлами и металлоидами .....   | 70         |
| 6.3.5. Загрязнение почв остаточными пестицидами .....  | 74         |
| 6.3.6. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами .....   | 76         |
| 6.3.7. Радиоактивное загрязнение почв .....  | 78         |
| <b>Глава 7. Деградация микробиологических свойств почв .....</b>   | <b>81</b>  |
| <b>Глава 8. Комплексные виды деградации экосистемы .....</b>   | <b>88</b>  |
| 8.1. Опустынивание .....   | 88         |
| 8.2. Деградация почв пастбищ .....   | 95         |
| 8.3. Деградация почв на орошаемых территориях .....  | 97         |
| <b>Глава 9. Почвенный экологический мониторинг: понятия, показатели, виды, объекты, методы .....</b>                             | <b>101</b> |
| 9.1. Понятия о почвенном экологическом мониторинге и его программе .....   | 101        |
| 9.2. Показатели почвенного экологического мониторинга .....  | 102        |
| 9.3. Виды почвенного экологического мониторинга .....  | 103        |
| 9.4. Объекты почвенного экологического мониторинга .....   | 104        |
| <b>Глава 10. Виды специфического почвенного экологического мониторинга .....</b>   | <b>107</b> |
| 10.1. Контроль загрязнения почв .....  | 107        |
| 10.1.1. Виды мониторинга загрязненных почв .....   | 107        |
| 10.1.2. Показатели состояния почв, определяемых при контроле загрязнения почв .....  | 110        |
| 10.1.3. Выбор тестовых участков при контроле состояния загрязненных почв .....   | 118        |
| 10.1.4. Экологическое нормирование качества загрязненных почв .....  | 119        |
| 10.2. Агрохимический мониторинг почв .....   | 136        |
| <b>Глава 11. Виды комплексного экологического мониторинга .....</b>  | <b>140</b> |
| 11.1. Мониторинг состояния экосистем, подверженных опустыниванию .....   | 140        |

|   |            |
|---|------------|
| 11.2. Оценка деградации почв пастбищ.....   | 145        |
| 11.3. Ирригационно-мелиоративный почвенный мониторинг .....   | 147        |
| 11.4. Интегральная оценка степени деградации почв.....  | 154        |
| <b>Глава 12. Виды универсального почвенного<br/>экологического мониторинга .....</b>                                    | <b>156</b> |
| 12.1. Мониторинг микробиологического состояния почв .....   | 156        |
| 12.2. Мониторинг почв по их производительной способности<br>(бонитировочный).....                                       | 163        |
| 12.3. Дистанционный почвенный экологический<br>мониторинг .....   | 168        |
| <b>Глава 13. Глобальный почвенный экологический<br/>мониторинг .....</b>  | <b>172</b> |
| <b>Глава 14. Организация почвенного экологического<br/>мониторинга в РФ .....</b>                                       | <b>177</b> |
| <b>Глава 15. Состояние почв Российской Федерации<br/>по результатам почвенного экологического<br/>мониторинга .....</b> | <b>184</b> |
| 15.1. Экологическая обстановка в Российской Федерации .....   | 184        |
| 15.2. Экологическая обстановка в Москве и Московской<br>области .....   | 193        |
| 15.3. Экологическая обстановка в Ростове и Ростовской<br>области .....  | 198        |
| <b>Глава 16. Перспективы почвенного экологического<br/>мониторинга .....</b>  | <b>202</b> |
| 16.1. Совершенствование методов экологического мониторинга .....  | 202        |
| 16.2. Выбор стратегии выживания человечества .....  | 208        |
| <b>Литература .....</b>   | <b>213</b> |
| <b>Приложения .....</b>   | <b>216</b> |
| <b>Глоссарий .....</b>  | <b>230</b> |
| <b>Словарь .....</b>  | <b>232</b> |

Учебное издание

*Мотузова Галина Васильевна*

*Безуглова Ольга Степановна*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ**

Компьютерная верстка

*О. Ситникова*

Корректор

*Ю. Иванова*

ООО «Академический Проект»

Изд. лиц. № 04050 от 20.02.01

111399, Москва, ул. Мартеповская, 3.

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
Федеральной службы по надзору в сфере  
защиты прав потребителей и благополучия человека  
№ 77.99.60.953.Д.002432.03.07 от 09.03.2007 г.

ООО «Гаудеамус»

115162, Москва, ул. Шухова, 21

*По вопросам приобретения книги  
просим обращаться в ООО «Триксиа»:  
111399, Москва, ул. Мартеповская, 3.  
Тел.: (495) 305 3702, 305 6092; факс: 305 6088.  
E-mail: [info@aproject.ru](mailto:info@aproject.ru)  
[www.aproject.ru](http://www.aproject.ru)*

Подписано в печать с готовых диапозитивов 27.07.07

Формат 84 × 108 1/32. Гарнитура БалтикаС.

Бумага газетная пухлая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,6.

Тираж 2000 экз. Заказ № 3736.

Отпечатано в полном соответствии  
с качеством предоставленных диапозитивов  
в ОАО «Дом печати — ВЯТКА»  
610033, г. Киров, ул. Московская, 122