



УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



AGROECOLOGY

Edited by **V. A. Chernikov** and
A. I. Chekeres

АГРОЭКОЛОГИЯ

Под редакцией доктора сельскохозяй-
ственных наук **В. А. Черникова** и
кандидата географических наук
А. И. Чекереса

Рекомендовано Министерством сельского
хозяйства и продовольствия Российской Фе-
дерации в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений по агрономи-
ческим специальностям

MOSCOW «KOLOS» 2000



МОСКВА «КОЛОС» 2000

УДК 631.95(075.8)

ББК40.3я73

А26

Авторы: *В. А. Черников* (введение, главы 1, 4, 6, 8, 11, 14, 18, 19, 20, 24, заключение), *Р. М. Алексахин* (глава 15), *А. В. Голубев* (глава 24), *И. Г. Грингоф* (глава 5), *В. М. Ивонин* (главы 10, 13), *В. Ф. Кормилицын* (главы 1, 4, 22), *В. Ф. Ладонин* (глава 19), *Ш. И. Литвак* (глава 19), *Н. З. Милащенко* (глава 19), *П. А. Мосиенко* (главы 8, 24), *Л. В. Мосина* (главы 9, 11, 14, 17, 23), *С. А. Муракаева* (главы 6, 7, 10, 12, 21), *В. В. Паракин* (главы 2, 3, 4, 22), *Г. И. Попов* (главы 17, 24), *Д. А. Постников* (главы 8, 16, 18), *В. А. Раскатов* (главы 8, 16, 18, 20), *О. А. Соколов* (главы 7, 8, 22, 23), *В. Ф. Томили* (глава 21), *А. И. Чекерес* (введение, главы 1, 4, 6, 8, 11, 14, 22, 24, заключение)

Редакторы: *А. А. Белоусова*, *П. М. Щербакова*, *И. А. Фролова*

Рецензент академик РАН *Г. В. Добровольский* (Институт почвоведения МГУ и РАН)

Агроэкология / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев и др.; Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. — М.: Колос, 2000. — 536 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

ISBN 5-10-003269-3.

В учебнике изложены основные вопросы агроэкологии: сведения о биосфере, агроэкосистемах и особенностях их функционирования в условиях техногенеза, почвенно-биотическом комплексе, роли сельского хозяйства в биогенном загрязнении водных экосистем, производстве экологически безопасной сельскохозяйственной продукции. Рассмотрены проблемы сельскохозяйственной радиоэкологии, агроэкологического мониторинга, оптимизации ландшафта сельскохозяйственных районов.

Для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям.

УДК 631.95(075.8)

ББК 40.3я73

Agroecology / V. A. Chernikov, R. M. Alexachin, A. V. Golubev and et al. Edited by V. A. Chernikov and A. I. Chekeres. — М.: Kolos, 2000. — 536 pages, illustrations. — (Textbooks and manuals for the students of higher schools).

In the textbook fundamental principles of agroecology are expounded: knowledge about biosphere, agroecosystems and peculiarities of their function under thecnogenesis; soil biotic complex, the role agriculture in water eutrophication, ecologically safe production. Principles of agricultural radioecology, environmental monitoring, and optimisation of agricultural landscape are regarded.

Textbooks and manuals for the students of higher schools.

ISBN 5-10-003269-3

© Издательство «Колос», 2000

ВВЕДЕНИЕ

●

Взаимодействие общества с окружающей природной средой вызвало множество отрицательных последствий, что диктует необходимость последовательного формирования равновесного природопользования. Только при этом условии может быть достигнут разумный баланс во взаимодействии человека и природы, обеспечено грамотное использование естественного базиса развития производительных сил.

Деятельность человека направлена на овладение веществом, энергией и информацией — основополагающими элементами материальной и духовной базы любой общественной формации. Уровень технологических и технических систем, характер социально-экономических отношений, с одной стороны, определяют масштабы этих процессов, а с другой — степень и направленность воздействия на первичную биосферу. В последнее время воздействие это значительно усилилось, природные системы преимущественно находятся в аномальном (нарушенном) состоянии, имеют место кризисные явления и даже разрушение природных систем. Налицо противоречие между достижениями научно-технического прогресса, определяющего функциональные особенности нынешней биотехносферы, и динамикой экологических параметров. Не случайно столь пристальное внимание уделяется проблеме «безопасности прогресса».

Многоплановая проблема безопасности прогресса, научно обоснованное и целенаправленное решение которой определяет возможности устойчивого развития цивилизации, наряду с системой технологических, технических, экономических и иных решений требует также всестороннего анализа и оценки взаимодействия человека с окружающей природной, производственной и бытовой средами обитания для предотвращения возникновения экстремальных ситуаций, зон постоянного риска, а в конечном итоге для реального достижения безопасности жизнедеятельности.

Первичная биосфера (как, впрочем, и биотехносфера) является одновременно биологической, геофизической, кибернетической, термодинамической и химической системой, поэтому поиск оптимальных решений, безусловно, непрост. Важно выработать природосообразное поведение, основанное на знании сущности проблемы взаимодействия общества и природы. Для выработки конструктивной позиции, для грамотных практических действий очень важно систематизированное обучение всех участников производственного процесса сущности взаимодействия человека и природы в увязке со спецификой отраслей народного хозяйства.

В соответствии с Законом Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды» (1991) существенно возрастают требования к грамотности специалистов в области охраны природы и рационального использования природных ресурсов. Специалист любой сферы деятельности должен понимать смысл современных проблем взаимодействия общества и природы, разбираться в причинной обусловленности возможных негативных воздействий тех или иных производств на окружающую природную среду, уметь квалифицированно оценивать характер, направленность и последствия влияния конкретной хозяйственной деятельности на природу, увязывая реше-

ние производственных задач с соблюдением природоохранных требований, уметь планировать и организовывать природоохранную работу, вырабатывать и принимать научно обоснованные решения по вопросам охраны природы. Было бы ошибкой считать, что в природоохранных делах можно обойтись одними директивными установками и законодательными актами, выделением необходимых средств и т. п. Охрана природы — это не только сумма проблем, но и нечто гораздо большее: образ мышления, важная сфера формирования современного мировоззрения. Результативность государственных мер по охране природы во многом зависит от творческой инициативы людей, заинтересованного участия в проведении природоохранных мероприятий различных категорий населения и прежде всего лиц чьи действия или решения оказывают прямое или косвенное влияние на состояние окружающей природной среды.

Как тут не вспомнить строки известного русского писателя Ивана Васильева: «Что творишь ты, земляк!.. Почему ты не думаешь? Не думаешь о том, что будет завтра с твоим домом, с твоими детьми, с землей, которая тебя кормит?.. Ну скажи, пожалуйста, на что тебе будут миллионы куриных яиц, которые ты собираешь сегодня на фабрике, если завтра не станет вот этого леса, если болота и озера превратятся в зловонные лужи и ты не отыщешь чистой водицы, чтобы утолить жажду, если зеленый покров земли сдерешь колесами и ветер поднимет тучи песка и понесет в твои окна и двери? Ведь ты бросишь все и пойдешь куда-нибудь. А там что же, опять за свое, опять бездумье? Земля велика, но и у нее предел есть.

Грустно глядеть на твои следы... вот в десяти шагах от крайнего дома — болото. Оно было сухое, росли на нем березы и сосны, заслоняли деревню от огромного, расплывшегося на десятки гектаров зловонного поля, так называемого навозохранилища. Болото ты подтопил. Насыпал через ручеек дамбу, чтобы сократить дорогу к ферме, вода поднялась — лес погиб. Он стоит мертвый, птицы в нем не живут.

...Еще десять шагов — картофельные бурты, кучи прелой соломы, сухие сосны. Каждую весну бульдозер сгребаёт всю гниль, валит под откос — там уже вал образовался, сосняк задохся, повалился, открыв уже мертвое болото с другой стороны.

А с третьей в это подтопленное болото текут обильные навозные ручьи. Теперь повернись, выбери любую из десяти дорог, коими располосован молодой сосновый бор на жалкие лоскутки, и пройди по ней еще сотню шагов — увидишь, как расплзается, низвергая сосны и березы под обрыв, другая язва земли — карьер... Если этого не понимать, то...»*.

От экологической грамотности специалистов сельского хозяйства зависят защита окружающей среды от прямого загрязнения и разрушения, снижение ресурсо-, материало- и энергоемкости сельскохозяйственного производства, внедрение малоотходных технологических систем и процессов, минимизация потерь сельскохозяйственной продукции, внедрение природосообразных систем ведения земледелия, животноводства, оптимизация ландшафта сельскохозяйственных районов, производство экологически чистой продукции и т. д. Принципиально важно придать экологическую направленность сельскохозяйственным технологиям с учетом дальнейших путей развития научно-технического прогресса, особенностей специализации и концентрации по природно-хозяйственным зонам. Концепция природосообразности должна быть заложена в производственные системы, а при оценке производительности следует учитывать соотношение полученной продукции с объемом использованных ресурсов и удаленных отходов.

Требования рационального природопользования должны учитываться во

* И. Васильев. Дело и только дело. — М.: Правда, 1987. С. 49—50.

всех подсистемах современного агропромышленного комплекса (сфера производства средств производства для сельского хозяйства; сфера материально-технического обслуживания сельского хозяйства; собственно сельскохозяйственное производство; заготовка, хранение, первичная переработка и реализация сельскохозяйственной продукции).

Действенность и эффективность охраны природы в сельском хозяйстве зависят от экологического предвидения специалистов, их умения увязывать вопросы развития производства с природоохранными задачами.

Принято считать, что интенсификация сельского хозяйства — это последовательно возрастающее вложение средств производства и труда на единицу земельной площади и на голову скота. Она осуществляется на основе укрепления материальной базы, увеличения производства минеральных и органических удобрений, химических средств защиты растений. Между тем заместить силы природы человеческим трудом невозможно. И в индустрии, и в земледелии человек может только пользоваться действием сил природы, если он познал механизм их действия. И не случайно результатом процесса интенсификации сельского хозяйства стали существенные негативные воздействия на природные комплексы и их компоненты, отрицательные изменения в состоянии окружающей природной среды.

Неправомерно сводить научно-технический прогресс в сельском хозяйстве лишь к количественному росту материально-технических средств, используемых в отрасли. Важно учитывать не только социально-экономические, но и экологические требования.

В условиях интенсификации сложилось своего рода нигилистическое отношение к необходимости последовательного осмысленного учета естественной основы производства. Между тем аграрный сектор экономики связан с воспроизводством живых организмов — растений и животных и поэтому сохраняет специфику производственных процессов, обусловленную природными факторами. Выведение новых сортов и пород, создание прогрессивных технологий, внедрение механизации, химизации, мелиорации направлены на повышение уровня рационального использования природного базиса, его производительной силы. Более высокому уровню экономической активности должны соответствовать более совершенные организации и регулирование процессов природопользования.

Современные процессы интенсификации характеризуются весьма высокой энерго- и ресурсоемкостью. В итоге все более возрастает энергетическая «цена» каждой пищевой калории. Так, на производство пищи, имеющей энергетическую ценность 1 Дж, к началу 80-х годов расходовалось до 10 Дж энергии, а на хранение и переработку требовалось еще 5...7 Дж. Повышение урожайности с 2 до 4 т/га обуславливает десятикратное увеличение затрат энергии ископаемого топлива. Существует природно-обусловленный предел допустимого привнесения в агроэкосистемы искусственной энергии, да и возможности наращивания ее производства не безграничны. Адаптированные же (т. е. максимально учитывающие природный фон) системы сельского хозяйства, как правило, менее энергоемки.

Между прочим, фермеры весьма заинтересованно относятся к целесообразности и возможности всестороннего учета экологических требований при создании и ведении своих хозяйств.

«Экологизация» сельскохозяйственного производства — объективно обусловленная необходимость целенаправленного перехода от сугубо технократической политики к грамотному соединению достижений научно-технического прогресса с принципами природосообразности при организации и осуществлении различных видов производственной деятельности в сфере агропромышленного комплекса. В понятие интенсификации необходимо включать и природную составляющую.

Рассмотренные проблемы и призвана изучать и решать агроэкология

(сельскохозяйственная экология). Следует отметить, что общепринятого определения этого понятия пока еще нет. В «Словаре-справочнике по экологии» (Кондратюк, Хархота, 1987) сказано: агроэкология, агроценология, аграрэкология, культурфитоценология, агрофитоценология — наука об агроценозах. Агроэкология исследует связи между организмами в агроценозах, влияние на них среды, роль организмов в создании определенной биоценотической среды, а также структуру, продуктивность, типы агроценозов и их районирование. Общая цель агроэкологии — использование биоценологических закономерностей культурной растительности для повышения ее продуктивности и качества. В словаре-справочнике «Природопользование» (Реймерс, 1990) говорится: агроценология (агроэкология) — научная дисциплина об агроценозах, рассматривающая в качестве центрального объекта вид или сорт, ради которого создается агроценоз; экология сельскохозяйственная: 1) аутоэкология и синэкология культурных растений и домашних животных; 2) экология (часть биологии — биоэкология, изучающая отношения организмов... между собой и окружающей средой...) всех культивируемых растений. В толковом терминологическом словаре «Экология и охрана окружающей среды» (1998) агроэкологией (сельскохозяйственной экологией) назван раздел прикладной экологии, изучающий влияние факторов среды (биотических и абиотических) на продуктивность культурных растений, а также структуру и динамику сообществ организмов, обитающих на сельскохозяйственных полях, влияние агробиоценозов на жизнедеятельность культивируемых растений.

Следует обратить внимание на ограниченность, односторонность этих определений. В результате вне поля зрения оказываются многоплановые вопросы взаимодействия агропромышленного комплекса с окружающей природной средой, природная и антропогенная обусловленность таких взаимодействий, их причинно-следственные взаимосвязи и взаимозависимости и т. д.

Более исчерпывающим и соответствующим сущности рассматриваемых проблем может быть следующее определение: *агроэкология* — это комплексная научная дисциплина, изучающая взаимодействие человека с окружающей средой в процессе сельскохозяйственного производства, влияние сельского хозяйства на природные комплексы и их компоненты, взаимодействие между компонентами агроэкосистем и специфику круговорота в них веществ, перенос энергии, характер функционирования агроэкосистем в условиях техногенных нагрузок. Цели агроэкологии: обеспечение устойчивого производства качественной биологической продукции, максимальное использование природного биоэнергетического потенциала агроэкосистем, сохранение и воспроизводство природно-ресурсной базы аграрного сектора, исключение и минимизация негативного воздействия на окружающую природную среду.

В предлагаемом учебнике преимущественное освещение получили естественно-научные аспекты агроэкологии, что далеко не исчерпывает пласт актуальных проблем, связанных с экологизацией сельского хозяйства.

* * *

Рукопись учебника подготовлена при содействии Федеральной целевой программы «Интеграция»; проектов TEMPUS («Совершенствование агроэкологического образования») и TACIS («Укрепление сельскохозяйственных реформ посредством образования»).

Глава 1

КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИИ

●

1.1. НАКОПЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

История становления экологии неразрывно связана с возникновением и развитием человеческого общества. Биотическое начало служило и будет служить предпосылкой формирования социальных свойств нынешних и будущих поколений людей. Как писал автор «Капитала», до тех пор, пока существуют люди, история природы и история людей взаимообуславливают друг друга. Адекватно исторически длительному процессу формирования человеческой популяции развивался процесс освоения природных ресурсов, являющихся незаменимым источником жизнеобеспечения. По мере роста масштабов и совершенствования способов изъятия природного вещества у людей объективно вырабатывалось осознание связи с внешним миром и зависимости от него. В результате человек приобретал навыки, условно говоря, «целесообразного» отношения к природе. В то же время, пусть стихийно, подсознательно, формировались ростки естественно-научного, в том числе и экологического, знания.

Со времен палеолита сохранились наскальные рисунки, изображающие сцены охоты, животных, культивирование растений. Нет сомнений, что древний человек — охотник и собиратель — был знаком с повадками зверей, знал сроки плодоношения полезных для него растений, время наступления холодных и теплых, сухих и влажных периодов и т.д. Немало сведений такого рода встречается в древних египетских, индусских, китайских, тибетских и европейских письменных источниках. Любопытны юридические нормы, существовавшие в Эфиопии во времена Ак-

сумского царства (IV в. н.э.), согласно которым речную рыбу, птицу, степных и лесных млекопитающих нельзя было продавать и покупать. Жители высокогорий, например, освобождались от обработки земли и выпаса скота, но должны были сохранять в чистоте водный сток в нижележащие пояса гор. Можно лишь восхищаться мудростью древних и глубоко сожалеть, что так называемому цивилизованному обществу явно не хватает соответствующего мироосознания.

Весомый вклад в развитие знаний о природе внесли античные ученые. Древнегреческому философу Эмпедоклу из Акраганта (ок. 490—430 гг. до н.э.), например, принадлежит первое осмысление связи растений со средой; им же высказана догадка об эволюции животных в результате естественного отбора.

Аристотель (384—322 гг. до н.э.) в сочинении «О возникновении животных» предложил первую классификацию животных, имеющую экологическую окраску (приспособленность животных к условиям места обитания, зависимость их морфологических особенностей от условий внешней среды, сезонная и суточная активность, особенности питания и др.). Теофраст (372—287 гг. до н.э.) — ученик Аристотеля — в труде «Исследования о растениях» дал описание почти 500 видов растений, с учетом местообитания выделил их естественные группировки, практически заложив основы геоботаники.

Древнегреческим ученым принадлежит приоритет в разработке основ теории детерминизма — концепции, признающей всеобщую объективную закономерность и причинную обусловленность всех явлений природы и

общества. Вслушиваться в голос природы и понимать его, действовать в согласии с природой — таков завет эллинов.

Дальнейшее развитие естественные науки получили в Древнем Риме. Особо следует выделить Плиния Старшего (23—79 гг. н. э.), который в многотомном труде «Естественная история» обобщил данные по ботанике, зоологии, лесному хозяйству.

К I в. н. э. относится деятельность ученого-агронома Колумеллы, который уже хорошо знал значение удобрений, особенности агротехники и роста сельскохозяйственных культур.

В эпоху средневековья в изучении природы наступил длительный застой. Воцарилось время господства схоластики и богословия. Но и в этот тяжелый для науки период появились интересные в экологическом отношении догадки. Так, Леонардо из Пизы (Италия, 1202) впервые рассмотрел популяции с учетом возрастной структуры. Англичанин Р. Бэкон (1214—1294) описал зависимость организмов от условий существования. Накапливаются сведения прикладного характера о целебных травах, культивируемых растениях и животных. Знакомству с природой дальних стран послужили путешествия Марко Поло, Афанасия Никитина.

С началом эпохи Возрождения отмечается подъем в развитии естественных наук, появляется новая информация, имеющая экологическую значимость. Активизируется процесс изучения окружающего мира. Английский ученый Р. Бойль в 1670 г. провел в сущности первый экологический эксперимент, наблюдая за влиянием низкого атмосферного давления на различных животных. Спустя 16 лет (1686) другой английский исследователь Дж. Рей рассмотрел биологические критерии выделения вида, заложив основы концепции вида, которую в дальнейшем развили К. Линней, Ж. Б. Ламарк, Ч. Дарвин и др. Ж. Турнефору (Франция, 1700) принадлежат первое описание вертикальной поясности растительности в горах и сравнение ее с горизонтальным распределением растительности равнин. Один из основоположников научной микроскопии Антони ван Левенгук (Нидерланды) первым обратил внима-

ние на пищевые цепи и механизмы регулирования численности животных. Первый фенолог и основатель научной систематики Карл Линней опубликовал две, как тогда называли, диссертации — «Экономия природы» (1749) и «Общественное устройство природы» (1760). Под «экономией» автор понимал взаимоотношения всех естественных тел. Исследователь считал, что необходимо не только размножение организмов, но и их разрушение, поскольку гибель одних организмов дает возможность для существования других. Этим обеспечивается благополучие природы. К. Линней, по существу, заложил основы понимания биотического круговорота.

Нельзя обойти молчанием работы французского естествоиспытателя Ж. Бюффона, перу которого принадлежит 36-томная «Естественная история» (1749—1788). В этом многотомнике обобщено влияние среды, прежде всего климата и характера местности, на жизнь растений и животных. Акцентировано внимание и на росте численности животных, которое, по мнению автора, происходит в геометрической прогрессии. Случилось так, что позднее эта идея оказалась привязанной к имени интересовавшегося экономикой английского священника Т. Р. Мальтуса (1766—1834), идеи которого, изложенные более 200 лет назад (1798) в книге «Опыт о принципах народонаселения», по сей день являются предметом острых научных споров, стимулом для глубоких раздумий о судьбах человечества. По Мальтусу, население растет в геометрической прогрессии (1, 2, 4, 8, 16...), средства же существования увеличиваются в арифметической прогрессии (1, 2, 3, 4, 5...). Результат — объективный разрыв между темпами роста народонаселения и средств существования, а следовательно, иллюзорность всеобщего благоденствия. По удачному определению Н. Ф. Реймерса (1993), суть концепции Мальтуса в современной трактовке заключается в том, что увеличение вложения энергии в получение экономической значимой продукции не дает пропорциональной отдачи. Безусловно, на человека как на биологический вид закон геометрической прогрессии скорости размножения, открытый Мальтусом,

распространяется полностью. И с этих позиций рассматриваемая теория представляет собой строго научное учение. Негативное же отношение к этому закону связано с антигуманной (даже зловещей) трактовкой его самим автором: «... мы должны быть последовательны и способствовать действиям природы, вызывающим смертность... Вместо того чтобы проповедовать среди бедняков необходимость соблюдения чистоты, мы должны поощрять как раз обратные привычки. Надо делать в городах узкие улицы, перенаселять дома и способствовать повторению эпидемий чумы. Необходимо строить деревни близ непроточных водоемов и особенно способствовать заселению болотистых и вредных для здоровья мест. Но прежде всего нам следует осудить применение особых лекарств для лечения смертельных болезней, а также осудить тех добрых, но заблуждающихся людей, которые, изобретая способы искоренения определенных зол, думают, что оказывают услугу человечеству»*.

Теперь проблема, поставленная два века назад Мальтусом, значительно обострилась, стала более разноплановой и угрожающей. Все очевиднее проявляется дисбаланс между растущими потребностями человечества и оскудевающими запасами ресурсов планеты. Если Мальтуса беспокоило лишь несоответствие демографического роста динамике производства пищи, то современная ситуация выглядит гораздо сложнее. И надо признать, что сегодня трудно указать конструктивные решения.

Не оставалась в этот период в стороне и российская наука. Прежде всего следует вспомнить гениального М. В. Ломоносова и высказанные им положения о влиянии внешней среды на организм, не утратившие значения до сих пор.

Становлению и развитию экологического мышления в России в немалой степени способствовали проведенные в XVIII в. экспедиции в различные провинции страны. Результаты изложены в обстоятельных научных трудах

(С. П. Крашенинников — «Описание земли Камчатки», 1756; И.И.Лепехин — «Дневные записки путешествия доктора и Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по различным провинциям Российского государства», 1771; П. С. Паллас — «Путешествие по различным провинциям Российского государства», 1773). Упомянутые сочинения содержат обширные сведения о видовом составе растений и животных, а также его динамике в зависимости от изменения внешних условий конкретных местообитаний.

В 1775 г. россиянин А. А. Коверзнев в серьезной работе «О перерождении животных» обосновал вывод о зависимости изменчивости животных организмов от факторов среды обитания.

Среди называемых имен особое место занимает имя Андрея Тимофеевича Болотова (1738—1833). На могильном камне его скромно начертано: «Коллежский ассессор», что в дореволюционной России соответствовало гражданскому чину 8-го класса. На самом же деле это был пылкий искатель и серьезный творец. Он много внимания уделял изучению влияния среды на организм, создал одну из первых классификаций местообитаний, затронул вопросы взаимоотношений между организмами. В 1770 г. опубликован знаменитый трактат «Об удобрении земель», в котором автор высказывается вполне определенно: все растения состоят наиболее из вещей, принадлежащих к царству минералов. Следовательно, корни высасывают особые минеральные частички и надобно в той земле сим вещам в довольно количестве находиться. При этом Болотов предупреждал, что довольно количество пищи в почве — еще не все; необходимо, чтобы она находилась в доступной для растений форме. Небезынтересно, что спустя тридцать лет (1800) Берлинская академия наук объявила конкурс на установление источников питательных веществ для растений. Премия была присуждена известному ученому Шрадеру, утверждавшему, что растение берет все необходимое из... воды! И только в середине XIX в. окончательно восторжествовала болотовская точка зрения, без которой немислимо представить современное земледелие.

* Цит. по: Петров К. М. Общая экология. — СПб.: Химия, 1997. С. 144.

А. Т. Болотов не был экологом, но многие результаты его наблюдений, не утратившие значения доныне, дают основание считать его одним из основоположников современной сельскохозяйственной экологии. По сути дела, только теперь осознается значимость творческого наследия А. Т. Болотова.

В целом же в XVIII в. лишь начинается складываться экологическая точка зрения на изучаемые явления природы.

Начало XIX в. ознаменовалось публикацией сочинения «Гидрогеология» (1802) и многоотомного труда «Философия зоологии» (1809), принадлежащих перу виднейшего биолога Ж. Б. Ламарка (Франция). В «Гидрогеологии» автор заложил основы учения о биосфере и независимо от немецкого ученого К. Ф. Бурдаха (1800) предложил термин «биология», вложив в него глубокое содержание. В его капитальной «Философии зоологии» получила обоснование концепция о развитии живой природы, раскрывающая сущность взаимодействий в системе «организм—среда» как основу эволюции. Идея Ж. Б. Ламарка о возможности наследования приобретенных признаков, как известно, играет важную роль в биологии.

Для развития экологии, особенно агроэкологии, существенное значение имело издание в 1840 г. книги немецкого ученого Ю. Либиха «Химия в приложении к земледелию и физиологии», которая произвела коренной переворот во взглядах на питание растений. В этой книге содержится уничтожающая критика гумусовой (органической) теории питания растений и сформулированы основные положения теории минерального (автотрофного) питания. (Вспомним, что это произошло через 70 лет после опубликования упоминавшегося трактата А. Т. Болотова.) Ю. Либих первым сформулировал «закон возврата» и «закон минимума» (лимитирующих факторов), а также обратил внимание на круговорот элементов питания в земледелии. Учение о необходимости возврата питательных веществ, отчуждаемых с урожаем, в почву для поддержания ее плодородия К. А. Тимирязев относил к величайшим приобретениям науки.

В этот период прослеживается тен-

денция комплексного подхода к изучению природы. Значительное влияние на становление и развитие системного метода изучения растительных и животных организмов, явлений природы оказали труды немецкого естествоиспытателя А. Гумбольдта (1769—1859) и российского биолога К. Ф. Рулье (1814—1858). В многотомнике «Космос» (1845) А. Гумбольдт показал значение климата для жизни растений, ввел понятие изотерм, выдвинул идею горизонтальной зональной и вертикальной поясности в распространении растений, предвосхитил понятие их жизненных форм. К. Ф. Рулье впервые в России обосновал закономерности воздействия среды на развитие органического мира, разработал систему изучения животных, в том числе и в экологическом отношении. Он раскрыл значение биотических факторов в жизни растений и животных, утвердил понятие географической и экологической изменчивости видов. Широко известны его высказывания о важности глубоких исследований: «Вместо путешествия в отдаленные страны, на что так жадно кидаются многие, приляг к лужице, изучи подробно существа — растения и животных, ее населяющих, в постепенном развитии и взаимно непрерывно перекрещивающихся взаимоотношениях организации и образа жизни и так для науки сделаешь несравненно более, нежели многие путешественники, издавшие великолепно описания и изображения собранных естественных произведений...»*.

Перед своими учениками К. Ф. Рулье ставил цель: исследовать три вершка ближайшего к исследователю болота относительно растений и животных, исследовать их в постепенном взаимном развитии организации и образа жизни посреди определенных условий. В сегодняшнем понимании эти задачи составляют основу синэкологии.

Один из учеников и последователей К. Ф. Рулье Н. А. Северцов в 1855 г. опубликовал магистерскую диссертацию «Периодические явления в жизни зверей, птиц и гадюк Воронежской губернии» с эпиграфом о «трех вершках

* Цит. по: Реймерс Н. Ф. Начала экологических знаний. - М.: Изд-во МНЭПУ, 1993. С. 21.

ближайшего болота»... Это было первое специальное экологическое исследование в России.

Отдавая должное научным заслугам А. Гумбольдта и К. Ф. Рулье, многие экологи считают их предтечами системного познания природы как единого целого, становления концепции биосферы как глобальной экосистемы.

Одновременно с развитием экологического мышления благодаря открытиям в биологии, физике, химии и других областях науки происходило постепенное становление понятийного ядра еще не сформировавшейся, но уже заявляющей о себе новой отрасли знаний. В 1713 г. У. Дерэм (Англия) впервые предложил термин «баланс», в 1762 г. Ш. Бонне (Швейцария) — «эволюция», в 1800 г. К. Ф. Бурдах (Германия) — «биология», в 1805 г. А. Гумбольдт — «ассоциация», в 1840 г. Ш. Моррон (Бельгия) — «фенология», в 1850 г. Г. Д. Торо (США) и в 1866 г. Э. Геккель (Германия) — «экология». При этом нельзя не вспомнить французского зоолога И. Ж. Сент-Илера, который в вышедшей в 1854—1859 гг. «Естественной истории органического мира» использовал понятие «этология», которой (по определению автора) принадлежит изучение отношений между существами, организованными в семьи и общества, в сборища и сообщества.

Важнейшим событием мирового значения, способствовавшим дальнейшему активному развитию естественных наук, в том числе и экологии, явилась публикация знаменитого научного сочинения Ч. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора» (1859), в котором дана теория естественного отбора и происхождения видов, по сути, глубоко обоснованная эволюционная теория как обязательная составная часть экологии. В его работе не употребляется термин «экология», однако вся научная деятельность этого великого исследователя природы серьезнейшим образом способствовала развитию экологических знаний. Ч. Дарвин, основываясь на масштабных наблюдениях и глубоких обобщениях, убедительно показал, что новые виды растений и животных возникают после продолжительного эволюционного

развития, в результате постоянно происходящего из поколения в поколение естественного отбора особей, наиболее приспособленных к внешним условиям жизни. Главными движущими силами естественного отбора он считал изменчивость, наследственность, геометрическую прогрессию размножения, борьбу за существование. Борьба за существование (особый род отношений организмов и среды) — одна из важнейших экологических проблем, наиболее детально исследованная ученым, сделавшим основополагающий для популяционной экологии вывод о несравненно более жестокой борьбе за существование в пределах одного вида и между близкими формами, чем между различными видами. Не случайно «крестный отец» новой науки Э. Геккель вопросы, связанные с борьбой за существование, вопросы влияния абиотических и биотических условий на живые существа предложил объединить термином «экология», дав имя древнему знанию.

1.2. СТАНОВЛЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ

Первоначальный, наиболее продолжительный период становления экологии, который вполне обоснованно считается подготовительным (и даже периодом «наивной экологии»), когда отдельные фрагменты экологических знаний появлялись на свет в научных трудах, ботаников, зоологов, физиологов и других представителей естественных наук, закончился в 1866 г., когда немецкий зоолог Эрнст Геккель в предисловии к «Общей морфологии организмов» назвал науку об организмах и окружающей их среде экологией. В более поздней работе (1869) Э. Геккель писал: «Под экологией мы понимаем сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей средой, как органической, так и неорганической, и прежде всего его дружественных или враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт. Одним словом, экология — это изучение всех

сложных взаимоотношений, которые Дарвин называет условиями, порождающими борьбу за существование»*. (Любопытно, однако, что позднее сам автор отказался от этого названия, заменив его на «экономия природы» или «бионимия». Только история науки раставила все по своим местам.)

Фундаментальные исследования Ч. Дарвина, концептуальные обобщения Э. Геккеля явились серьезным стимулом для активизации экологических исследований (разработка и совершенствование специальных методов, проведение теоретических обобщений и т. д.), что в целом благоприятно сказалось на развитии экологии. Во второй половине XIX в. исследователи уделяли наибольшее внимание изучению образа жизни животных и растений, их приспособленности к климатическим условиям.

Исторический путь становления экологии различные исследователи делят на разное количество временных отрезков (периодов), исходя из понимания значимости и числа событий, отражающих зарождение, формирование и развитие экологии. Наиболее удачной по методическому подходу и предложенному календарю экологических событий является периодизация Г. С. Розенберга и Д. П. Мозгового. Согласно их классификации второй период охватывает конец XIX и первую треть XX в. На него приходится формирование факториальной экологии, накопление фактического материала по динамике популяций, изучение закономерностей отношения животных и растений к разнообразным внешним абиотическим факторам.

Термин «экология» все основательнее входит в научный обиход. Тем не менее зоологи и ботаники еще долго порозному будут осмысливать значение экологии. В зоологии главной экологической задачей считалось изучение взаимодействия отдельных организмов и групп как между собой, так и со средой. В ботанике же экология связывалась в основном с изучением влияния абиотических факторов на рост и развитие растений. Однако все очевиднее становит-

ся необходимость рассмотрения и изучения животного и растительного мира как целостной системы, «живого вещества», в неразрывной связи с абиотической и биотической средами. Осознание этой необходимости приобретает существенное методологическое значение для дальнейшего развития экологических исследований.

Хотя рассматриваемый период (1866—1935 гг.) заметно уступает по продолжительности первому, он гораздо богаче научными событиями и открытиями экологической направленности. Уже в 1868 г. французский ученый Ж. Ж. Э. Реклю использовал понятие «биосфера», которое независимо предложил австрийский исследователь Э. Зюсс. Но пройдет еще немало времени, пока в 1926 г. В. И. Вернадский не создаст фундаментальное учение о биосфере.

Важное значение для становления теоретических основ экологии имел сформулированный гидробиологом К. Мебусом (Германия, 1877) в научном трактате «Устрицы и устричное хозяйство» вывод о существовании сообществ организмов, или биоценозов.

Исследователь С. Форбс (США, 1887) впервые рассмотрел озеро как «микрокосм», т. е. целостную систему, состоящую из живых организмов и биотического окружения, фактически заложив элементарные начала учения об экосистемах.

В 1883 г. в России вышла книга В. В. Докучаева «Русский чернозем», в которой великий русский почвовед изложил учение о почве как продукте совокупного творчества живых организмов, горной породы и климата, определив пять факторов почвообразования. В дальнейшем В. В. Докучаев создал учение о природных зонах, положившее начало науке о ландшафтах. Широко известна его концепция лесных ползащитных насаждений, блестяще реализованная на практике в Каменной степи Воронежской губернии, где посадка лесных полос была начата в 1894 г. на полях площадью до 1000 га. Ученый тем самым предложил важный и необходимый элемент формирования природосообразных систем ведения сельского хозяйства, оптимизации ландшафтов.

* Цит. по: Новиков Г. А. Очерк истории экологии животных. — Л., 1980. С. 66.

Чтобы углубить проникновение «в пласты природы» и совершенствовать природопользование, В. В. Докучаев призывал отказаться от увлечения частностями в научном поиске и развертывать междисциплинарные комплексные исследования целостных природных систем. К сожалению, заслуги В. В. Докучаева получили должную оценку только после его смерти*.

Натуралист А. А. Силантьев (1868—1918), исследуя экологические особенности функционирования сообществ грызунов и насекомых, впервые поставил задачу прогнозирования изменения численности вредителей, а также высказал идею использования хищников и паразитов для предотвращения массового размножения вредных для человека насекомых и грызунов. Широко пропагандировал идею использования микробов для уничтожения вредных организмов знаменитый микробиолог И. И. Мечников (1845—1916). Приоритет практического применения биологического метода борьбы с вредителями принадлежит американскому энтомологу Ч. Рейли, который в 1898 г. перевез божьих коровок из Австралии в Калифорнию (США).

В 1910 г. Л. Г. Раменский (Россия) сформулировал один из основных экологических принципов — принцип непрерывности.

В рассматриваемый период продолжался процесс расширения и углубления понятийного ядра, были открыты новые законы и предложены новые экологические концепции. В 1909 г. Э. А. Митчерлих (Германия) предложил концепцию совокупного действия факторов на продуктивность биоценозов. В дальнейшем эту концепцию дополнили Б. Бауле и А. Тинеман, и она получила название закона совокупного действия факторов Митчерлиха—Тинемана—Бауле, являющегося одним из основных постулатов экологического земледелия. В. Шелфорд (США, 1911) сформулиро-

вал закон толерантности. В эти годы увеличилось число научных открытий, имеющих экологическое значение, что свидетельствовало об усилении внимания и интереса к проблемам существования живого. Разрабатываются, в частности, основополагающие категории теоретического ядра экологии: «климакс» — Т. Каулс (США, 1901); «популяция» — В. Л. Йогансон (Дания, 1903); «биота» — Э. Раковицэ (Румыния, 1907); «аутэкология» и «синэкология» — К. Шретер (Бельгия, 1910); «экопот» — Г. Н. Высоцкий (Россия, 1915); «фитоценоз» и «флуктуация» — И. К. Пачоский (Россия, 1915); «пространственная экологическая ниша» — Д. Гринелл (США, 1917); «продукция» — А. Тинеман (Германия, 1925); «биомасса» — Р. Демоль (Германия, 1927); «ноосфера» — Э. Леруа (Франция, 1927) и многие другие.

Большое значение для развития экологии имеет разработанное известным русским лесоводом Г. Ф. Морозовым фундаментальное учение о лесе как целостном географическом комплексе («Учение о лесе», 1912).

В 1915 г. русский ученый В. В. Алехин сформулировал «правило предвращения», которое было вторично открыто в 1951 г. Г. Вальтером (но зафиксировано, однако, как «правило Вальтера—Алехина»).

Крупным теоретическим обобщением стало учение о сукцессиях (сменах сообществ живых организмов), которое было разработано в 1916 г. исследователем Ф. Э. Клементсом (США).

В 1925 г. американский ученый А. Лотке в научном труде «Основы биофизики» сформулировал принципы математического подхода к экологии.

В эти годы В. И. Вернадский создает стройное фундаментальное учение о биосфере. В 1926 г. выходит его капитальный труд «Биосфера», в котором всесторонне рассмотрены и обоснованы планетарная геохимическая роль «живого вещества», его глобальные функции. (Выдающийся научный вклад В. И. Вернадского рассмотрен в последующих главах.)

В нашей стране и за рубежом в это время были изданы оригинальные монографии, учебники, учебные пособия,

*В вестнике МГУ, серия 17 «Почвоведение» (1996, № 3) опубликована интересная статья академика РАН Г. В. Добровольского «В. В. Докучаев как выдающийся эколог», в которой охарактеризованы яркие стороны творческой деятельности этого ученого и его вклад в развитие экологии.

сыгравшие немалую роль в становлении экологии как науки и как учебной дисциплины. В этом отношении можно сослаться, например, на книгу англичанина Ч. Элтона «Экология животных» (1927), в которой обосновано новое научное направление «популяционная экология», сформулирован закон «пирамиды чисел», предложены понятия «пищевые цепи», «экологическая ниша». Уместно вспомнить также работы В. Шелфорда «Биоэкология» (1929), книги Д. Н. Кашкарова «Среда и сообщество (основы синэкологии)» (1933), «Жизнь пустыни» (1936), «Основы экологии животных» (1938) — первый отечественный учебник по экологии.

В 1928 г. В. Н. Беклемишев (Россия) предложил концепцию «геомериды», согласно которой все живое вещество биосферы представляется в виде всеобщего системного единства. (То же, что и «живое вещество Земли» в понимании Вернадского в биологическом, а не в геохимическом смысле.)

К завершающим второй этап развития экологии событиям нужно отнести исследования В. В. Станчинского (1931) о трофических уровнях и «пирамиде энергий». Эти опыты повторил и развил дальше американский гидробиолог Р. Линдеман (1942), которому приписывают приоритет данного открытия. Еще одним важным событием стал выход книги Ф. Г. Гаузе (СССР) «Борьба за существование» (1934), в которой автор изложил принципы конкурентного исключения и описал первый эксперимент по исследованию взаимоотношений видов.

1.3. ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИИ ВИДОВ, ПОПУЛЯЦИЙ, БИОЦЕНОЗОВ

В целом же экология не выходила за рамки чисто биологических исследований. Проблем самого человека, а также охраны среды обитания она практически не касалась. Тем не менее не могло остаться незамеченным усиливающееся давление человечества на среду жизни.

Исходя из принятой классификации, началом третьего периода развития экологии (1935—1980) считается публикация статьи английского ботаника

А. Тенсли «Правильное и неправильное использование концепций и терминов в экологии растений», который предложил понятие «экосистема» и дал ему глубокое толкование, подразумевая под экосистемой единый комплекс живых существ, прежде всего растений, и абиотических условий, приуроченный к территории, занятой фитоценозом. Концепция экосистемы принадлежит к числу наиболее важных теоретических обобщений. Фактически работа А. Тенсли ознаменовала переход на новую ступень в развитии экологии благодаря использованию принципов комплексности, системности.

В 1939 г. К. Тролль (Германия) обосновал новое научное направление — «экология ландшафта»; это одна из ключевых проблем, рассматриваемых в агроэкологии.

В 1940 г. В. И. Вернадский сформулировал закон биогенной миграции атомов, согласно которому понимание общих химических процессов, протекавших и протекающих на поверхности суши, в атмосфере и в заселенных организмами глубинах литосферы и вод, а также в геологических слоях, сложенных прошлой деятельностью организмов, невозможно без учета биотических и биогенных факторов, в том числе эволюционных. Несколько позднее (1944) из под пера В. И. Вернадского выходит знаменитое учение о ноосфере, ставшее основой понимания и решения острых проблем взаимодействия человека и природы, сохранения биосферы.

Американский эколог Р. Линдеман в 1942 г. обосновал «трофико-динамический» подход к изучению экосистем. В соответствии с принятой им концепцией в процессе питания экосистемы связывают энергию, причем можно количественно оценить значения отдельных популяций, которые входят в экосистему и находятся на разных ступенях использования энергии.

К выдающимся научным событиям этого периода следует отнести разработку академиком В. Н. Сукачевым стройного учения о биогеоценозах — биогеоценологии (1942). Творчески используя диалектические принципы всеобщей связи элементов природы, непрерывного развития в результате борьбы проти-

воположностей, перехода количества в качество, В. Н. Сукачев на основе анализа закономерностей, управляющих лесными естественными насаждениями, пришел к выводу, что в природе существуют не просто биоценозы, а системы, которые объединяют органические сообщества с абиотическими условиями, свойственными определенной территории (экотопу). Единство биоценоза, экологических условий и экотопа образует комплекс, который автор предложил называть биогеоценозом.

Попытка воспроизвести объективную картину формирования экологии была бы, по-видимому, неполной без упоминания исследований Дж. Хатчинсона (США, 1961), описавшего открытый им «парадокс планктона» и сделавшего вывод, что наряду с конкуренцией есть и другие (более «гуманные») силы формирования сообществ. Следует назвать также совместные работы Р. Мак-Артура и Д. Коннела «Биология популяций» (1966), Р. Мак-Артура и Е. Уилсона «Теория островной биогеографии» (1967), в которых основной акцент сделан на конкуренции как главном факторе формирования сообществ. Строгий детерминизм упомянутых сочинений в объяснении экологических явлений способствовал внедрению в экологию математических методов, установлению количественных характеристик изучаемых объектов и процессов, разработке разноуровневых и разноаспектных моделей экологических систем. Этому, несомненно, благоприятствовало использование электронно-вычислительной техники. Вместе с тем чрезвычайно важно избегать в разработках такого рода черт мнимой универсальности; их следует выполнять в разумных пределах. Нелишне вспомнить известный афоризм: «Математика, подобно жернову, перемалывает лишь то, что под него засыплют».

В этот период наряду со сложившимися детерминистскими представлениями в методологии экологических исследований все больше внимания уделяли учету случайных (стохастических) факторов при объяснении изменений структуры и особенностей динамики экосистем. И дело не только в эволюции экологического мышления. Нали-

чие и значение закономерного и случайного в природе известно давно. В данном случае сказалась необходимость учета и оценки негативных перемен в природных системах в результате пагубного воздействия «преобразующей» силы человека.

1.4. «ИНТЕГРАТИВНЫЙ» ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИИ

Нарушение равновесного состояния экосистем из-за сокращения видового разнообразия растительного и животного мира, загрязнения среды обитания, неразумного природопользования объективно привело к замене, подчас существенной, эволюционно сложившихся, в большинстве своем причинно-следственных взаимосвязей между биотическими и абиотическими компонентами на случайно возникающие, часто с непредсказуемыми последствиями. Согласно Д. Симберлоффу (США, 1980) характерной чертой современной экологии стал учет роли случайных факторов в формировании структуры и динамики экосистем. С появлением работы упомянутого автора «Сукцессия парадигм в экологии» А. М. Гиляров связывает начало четвертого — «интегративного» — периода в развитии экологии, особенностью которого считается совместное существование детерминистской и стохастической концепций.

Характеризуя третий этап становления экологии, можно констатировать, что процесс формирования этой области знаний в целом завершился. Экология включает три основных взаимосвязанных направления — экологию видов (аутэкологию), экологию популяций (демэкологию), экологию биоценозов (синэкологию, или биоценологию).

Следует обратить внимание на известную несогласованность в понимании предмета общей экологии между ботаниками и зоологами (хотя речь и идет о научной дисциплине, объектом которой являются экологические закономерности и процессы, присущие всему органическому миру, а не только самим по себе растениям и животным).

Осознание этого обстоятельства приобрело исключительно актуальное зна-

чение в 50-х гг. XX столетия, когда над человечеством начинают сгущаться «экологические тучи». Из сугубо биотической экология трансформируется в глобальную науку, изучающую не только среду обитания растительного и животного мира, но и человека, зависимость которого от состояния окружающей природной среды становится все явственнее. Слово «экология», таким образом, приобретает новое, более емкое, смысловое значение, поскольку современное экологическое мироосознание синтезирует фактически весь спектр областей науки (естественные, технические, гуманитарные). Это наиболее наукоемкая сфера познания и деятельности.

В 1972 г. состоялась Стокгольмская конференция ООН по окружающей человека среде, на которой были представлены национальные доклады от 77 правительств, доклады от органов и учреждений ООН, международных неправительственных организаций. В принятой «Декларации по проблемам окружающей человека среды» не только сказано об ухудшающемся состоянии природы, но и очерчен круг проблем, подлежащих первоочередному решению, среди которых стоит и экология человека (не столько как биологического вида, сколько как субъекта воздействия на природные комплексы и их компоненты).

Уместно вспомнить еще один международный документ, разработанный Международным союзом охраны природы и природных ресурсов (МСОП) при поддержке Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и содействии Всемирного фонда дикой природы, — «Всемирную стратегию охраны природы». Целевая установка стратегии, провозглашенной в 1980 г.: управление использованием биосферы таким образом, чтобы экосистемы и виды могли приносить устойчивую пользу настоящему поколению и в то же время сохранили свой потенциал для будущих поколений.

Проблема реального знания и в науке, и в практической деятельности всегда имела непреходящее значение. В полной мере это относится и к экологии.

Рассмотренный перечень событий, имен, дат неизбежно содержит элементы субъективизма, поэтому более целесообразно исходить из углубленного анализа развития процессов научного познания. В этом отношении представляют интерес методологические воззрения В. А. Соловьева (1982). По его мнению, в процессе развития экологии выделяется несколько смен парадигм. Парадигма (от гр. *paradeigma* — пример, образец) — научная теория, воплощенная в системе понятий, выражающих существенные черты действительности, или исходная концептуальная схема, модель постановки проблем и их решения.

Первоначально главенствующее положение в экологии занимала аутоэкологическая парадигма, в соответствии с которой условия среды (в основном абиотические факторы) полностью определяют встречаемость и жизнедеятельность организмов. Ее сменила синэкологическая парадигма, суть которой заключается в том, что встречаемость и жизнедеятельность организмов определяются взаимодействием организмов и популяций (на фоне действия абиотических факторов). Суть третьей — системной — парадигмы заключается в том, что живые организмы и окружающая их среда образуют некоторое единство — экосистему, в которой и организмы влияют на среду, и среда на них.

Различия трех названных парадигм удачно проиллюстрировал В. А. Соловьев на примере системы избыточное увлажнение — мхи рода *Sphagnum*. Развитие этой системы характеризуется заболачиванием территории. Не вдаваясь в детали процесса заболачивания, можно констатировать, что в соответствии с аутоэкологической парадигмой заболачивание обусловлено избыточным увлажнением; если исходить из синэкологической парадигмы, то рассматриваемый процесс вызывается мхами, которые обладают большой водоудерживающей способностью и «собирают» влагу из окружающей среды. Согласно же экосистемной парадигме вопрос о причине и следствии (увлажнение или мхи вызывают заболачивание) теряет смысл. Формирующаяся из

рассматриваемых элементов система обладает способностью к авторегуляции и саморазвитию в направлении заболачивания. Именно системе (а не отдельным ее элементам) присущи указанные свойства.

Комплексность современного экологического знания, базирующегося на материалах многих наук, обусловила существование нескольких вариантов системной парадигмы:

компонентный вариант, при котором экологическое исследование основывается на изучении компонентов биогеоценоза или биосферы;

биогеоценотический вариант, когда объект экологического исследования представляется комплексом элементов, которые, с одной стороны, взаимодействуют между собой, а с другой — взаимообуславливают друг друга. Будучи тесно взаимосвязаны, они образуют некие пространственные комплексы — биогеоценозы;

геоструктурный вариант, в центре которого — геосистема (земное пространство), где различные природные компоненты находятся в системной связи друг с другом и как единое целое взаимодействуют с человеческим обществом и космической средой; в этом варианте внимание обращено на неживую природу (абиотические факторы);

биоцентрический вариант, в соответствии с которым основным механизмом, регулирующим состояние природного комплекса и его саморазвитие в процессах экологической сукцессии, является биотическая авторегуляция;

антропоцентрический вариант основывается на предпосылке, что человек (общество) является составной частью биосферы (в отличие от других вариантов, где человек и общество рассматриваются как система, находящаяся вне природной экосистемы и взаимодействующая с ней).

Следует иметь в виду две основные особенности системной парадигмы экологии. В. А. Соловьев характеризует их следующим образом: первая — монис-

тичность, она обеспечивает единый подход к изучению любых природных комплексов, включающих растения, животных, микроорганизмы, человека и природную среду; вторая — системность, она представляет экосистему как один из видов систем вообще и создает условия для применения общей теории систем и кибернетики со всеми их развитыми мощными математическими методами к экологическим объектам.

Одновременно с развитием и становлением общей экологии шел процесс формирования ее прикладных направлений, среди которых ключевое место принадлежит сельскохозяйственной экологии (агроэкологии). Это и закономерно, если вспомнить следующее. Сельскохозяйственное производство, представляя собой механизм устойчивого культивирования природных богатств, в отличие от других отраслей хозяйственного комплекса характеризуется более тесным соединением общественных и природных факторов. По существу, возделывание сельскохозяйственных растений и разведение животных — наиболее исторически продолжительные и активные формы взаимодействия человека и природы. Осмысливая длительный процесс возникновения, развития и становления экологии, можно утверждать, что решение многих задач было обусловлено требованиями сельского хозяйства, поскольку именно природные факторы являются естественной основой, базисом производства.

Общая экология, как и прикладные ее направления, выполняет следующие научные функции: описательную, измерительную, классификационную, объяснительную (диагностическую), синтезирующую (систематизирующую), предсказательную (прогностическую) и конструктивную. И это должно учитываться при решении конкретных агроэкологических задач. Выживание человечества требует оптимизации взаимодействия человека и природы на основе экологических знаний.

Глава 2

ПРИРОДНАЯ СРЕДА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

●

2.1. СРЕДА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Факториальная экология. Длительный процесс изучения и осмысления взаимосвязи и взаимозависимости, взаимодействия и взаимообусловленности в системе организм—среда, проявляющиеся тенденции нарушения природного равновесия закономерно привели к осознанию и пониманию того, что все живые организмы, населяющие Землю, существуют не сами по себе, а всецело зависят от окружающей среды и постоянно испытывают на себе ее воздействие.

Каждый организм успешно выживает и размножается в конкретной среде, характеризующейся относительно узким диапазоном температур, количества осадков, почвенных условий и др. Географический ареал любого вида соответствует географическому распределению подходящих для него условий среды.

В связи с этим очень важно располагать информацией о сущности и обусловленности явлений, зависимостей и связей, сложившихся между организмами, популяциями, биоценозами и факторами среды. Соответствующие исследования принято объединять понятием «факториальная экология». Их теоретическую основу составляет закон единства организма и среды В. И. Вернадского, согласно которому жизнь развивается в результате постоянного обмена веществом и информацией на базе потоков энергии в совокупном единстве среды и населяющих ее организмов.

Среда. Концепция «среды» и ее связи с организмами относится к числу дискуссионных в науке. При рассмотрении вопросов связи организмов со средой экология должна прежде всего учитывать критерии выживания и размножения. Именно они и определяют эколо-

гические шансы устойчивости отдельных видов в данной среде или конкретной экосистеме.

Современная классификация понятия «среда» (рис. 2.1), где основными исходными блоками являются природная и антропогенная среды, дает возможность составить достаточно полное представление о ее структурной дифференциации. Сложилась следующие основные понятия среды.

Окружающая среда — это вещество, энергия и пространство, окружающие организмы и воздействующие на них как положительно, так и отрицательно.

Природная среда — это совокупность природных абиотических и биотических (биогенных) факторов по отношению к растениям, животным и другим организмам вне зависимости от контактов с человеком. Природная среда включает среду географической оболочки; биогенную среду (совокупность биологической и биотической сред); абиотическую среду (все силы и явления природы, ее вещество и пространство в приложении к живым организмам или объектам с участием живого) и некоторые другие виды сред.

Антропогенная среда — природная среда, измененная человеком. Она включает «квазиприродную среду» (окультуренные ландшафты, агроценозы и некоторые другие объекты, неспособные к самоподдержанию среды); «артеприродную среду» (искусственное окружение людей — здания, сооружения, асфальтированные и другие дороги в сочетании с природными элементами — почвой, растительностью, воздухом, светом и др.); окружающую человека среду — совокупность абиотических, биотических и социальных факторов в сочетании с «квазиприродной» и «артеприродной» средами.

В факториальной экологии выделяют и более детальные понятия среды. В

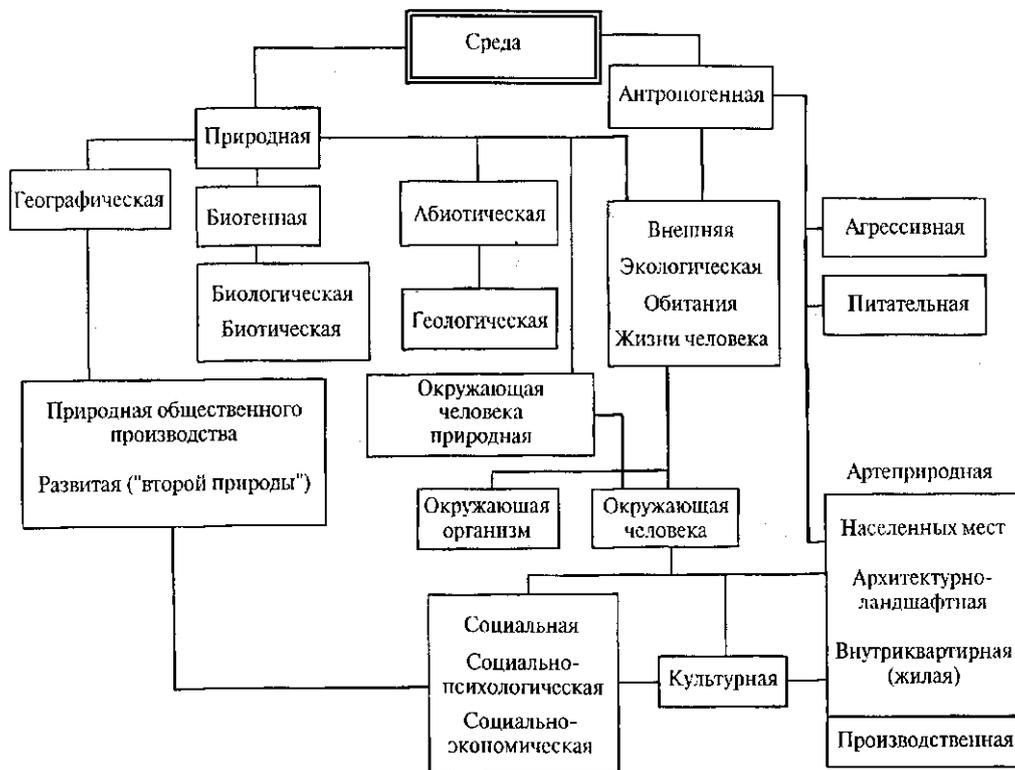


Рис. 2.1. Классификация понятия «среда» (Реймерс, 1990)

частности, *среду обитания* — часть природной среды, окружающую живые организмы, с которой они взаимодействуют. Составные элементы и свойства среды обитания многообразны, изменчивы; при этом одни элементы могут быть необходимы организму, другие безразличны, а третьи оказывают вредное воздействие.

Условия существования, или условия жизни, — это совокупность необходимых организмам элементов среды, с которыми они находятся в неразрывном единстве и без которых существовать не могут.

Экологические факторы. В экологической литературе бытует мнение, что экологическим фактором является любой из элементов окружающей среды независимо от наличия и особенностей его связей с обитающими в этой среде организмами. Наиболее распространено следующее определение экологических факторов: элементы окружающей среды, оказывающие положительное

или отрицательное влияние на живые организмы на протяжении хотя бы одной из фаз их индивидуального развития, называются экологическими факторами. Однако такое определение не раскрывает механизм действия факторов.

Определение экологического фактора, предложенное А. С. Мончадским, основано на периодичности изменений количественных значений фактора. *Экологическим фактором* является только изменяющийся элемент окружающей среды, вызывающий у организмов при своих повторных изменениях ответные приспособительные эколого-физиологические реакции, наследственно закрепляющиеся в процессе эволюции. К тому же, по Б. А. Быкову, экологические факторы (от лат. factor — делающий, производящий) — это внешние и внутренние силы, определяющие направление и скорость процессов, совершающихся в организмах и экосистемах.

Согласно такой концепции экологического фактора у организмов можно различить три основных типа реакций в зависимости от особенностей внешних воздействий. Простейшая форма таких реакций — изменение положения организма в пространстве по отношению к источнику воздействия. Пример реакций этого типа — перемещения организмов для сохранения исходного состояния уровня их жизнедеятельности.

Более сложным типом реакций являются количественные изменения уровня жизнедеятельности, в частности обмена веществ в организме без изменения его характера (например, все изменения скорости течения жизненных процессов как ответные реакции на внешние воздействия). Приспособительное значение реакций этого типа заключается также в сохранении исходного состояния организма в тех случаях, когда в ответ на внешние воздействия организм не может изменить свое положение в пространстве.

Наиболее сложным типом ответных реакций являются изменения характера жизнедеятельности и обмена, к которым относятся явления диапаузы, спячки, анабиоза, фотопериодические реакции и другие качественные изменения жизненного цикла, явления иммунитета и т. п. Эти реакции наступают под влиянием внешних воздействий большой длительности или интенсивности (например, смена сезонов, воздействие паразитов, загрязняющих веществ и т. д.). Выживание организма в этих условиях обуславливается не сохранением энергетического баланса, а наоборот, приспособительным к условиям изменением.

Очевидно, что перечисленные типы реакций организмов могут быть вызваны только такими элементами, которые быстро изменяются во времени. Именно факт их изменчивости — необходимое условие возможности их воздействия на организмы и возникновения у последних ответных эколого-физиологических реакций.

Изменения экологических факторов среды во времени могут быть регулярно-периодическими, меняющими силу воздействия в зависимости от времени суток, сезона года, ритма приливов и отли-

вов в океане. Их делят на первичные и вторичные. К регулярно-первичным экологическим факторам относятся температура, освещенность, морские приливы и отливы и некоторые другие факторы, зависящие от вращения Земли вокруг Солнца (поэтому они наиболее древние и совершенные). Вторичные периодические факторы являются следствием изменений регулярно-первичных. К ним относятся: влажность воздуха, зависящая от температуры; наличие растительной пищи, зависящее от развития растений; биология «сортов-хозяев» (факторы, к которым приспосабливаются хищники и паразиты); биотические внутривидовые влияния, связанные с годовыми циклами.

Непериодические и нерегулярные изменения экологических факторов появляются внезапно, без четкой периодичности. Например, изменения погодных условий в разные годы, явления катастрофического характера (бури, ливни, наводнения, извержения вулканов, обвалы), воздействия паразитов и другие межвидовые биотические влияния, а также все формы антропогенных воздействий.

В большинстве случаев приспособлений организмов к таким факторам не существует, что дает теоретическое обоснование для применения методов борьбы против вредных организмов (растений, животных) с помощью химических и биологических средств (однако известны факты возникновения штаммов патогенных микроорганизмов, резистентных к действию того или иного антибиотика).

Направленные изменения экологических факторов происходят на протяжении известных (иногда длительных) отрезков времени, например при похолодании или потеплении климата, зарастании водоемов, постоянном выпасе скота на одном и том же участке и т. п.

Экологические факторы чрезвычайно разнообразны по происхождению, характеру действия на живые организмы, времени воздействия и другим особенностям. Общепринята следующая развернутая классификация экологических факторов:

по происхождению (космические,

абиотические, биотические, природно-антропогенные, антропогенные);

по среде возникновения (атмосферные, водные, орографические или геоморфологические, эдафические, физиологические, популяционные, экосистемные, биосферные);

по степени воздействия (летальные, экстремальные, лимитирующие, беспокоящие, мутагенные, тератогенные);

по времени (эволюционные, исторические, действующие);

по характеру действия (геофизические, географические, биогенные и биотические, эволюционные).

В сельском и лесном хозяйстве широко применяют классификацию экологических факторов по происхождению: абиотические, биотические, антропогенные (обусловлены влиянием человека на окружающую среду).

Абиотические факторы — это факторы неживой природы, формирующиеся под воздействием косных тел ее.

К абиотическим факторам в наземных экосистемах относятся:

климатические — свет, тепло, воздух (его состав и движение), влага (включая осадки в разных формах, влажность воздуха и почвы и др.);

эдафические (или почвенно-грунтовые) — гранулометрический и химический составы почв и грунтов, их физические свойства*;

орографические (условия рельефа).

На водные организмы влияет комплекс гидрологических факторов (гидрофизические, гидрохимические).

Абиотические факторы могут оказывать на организмы прямое и косвенное (опосредованное) действие. Например, температура среды, действуя непосредственно на организм животного или растения, определяет тепловой баланс, те-

чение физиологических процессов. Вместе с тем температура как абиотический фактор может оказывать и косвенное влияние. Так, обеспечивая те или иные условия для развития растений, являющихся пищей для животных-фитофагов, она может повлиять на жизнедеятельность последних. Основные абиотические факторы, оказывающие решающее влияние на жизнеспособность организмов, — климатические (свет, тепло, воздух, влажность воздуха и почвы, снежный покров).

Два абиотических фактора — температура и количество осадков — определяют размещение по земной поверхности основных наземных экосистем. Климат — статистический режим атмосферных условий (условий погоды), характерный для каждого данного места Земли в силу его географического положения, — в разных районах земного шара неодинаков. Так, среднегодовая сумма осадков на земном шаре колеблется от 0 до 12 000 мм. При этом в одних случаях осадки выпадают равномерно в течение года, в других — основное их количество приходится на определенный период. Среднегодовая температура также варьирует от отрицательных величин в полярных областях до высоких положительных значений в тропиках.

Распространение живых организмов на Земле тесно связано с географическими поясами и зонами. Пояса имеют широтное распределение, что обусловлено в первую очередь радиационными рубежами и характером атмосферной циркуляции. На поверхности земного шара выделяют 13 географических поясов (арктический, антарктический, субарктический, субантарктический, северный и южный умеренные, северный и южный субтропические, северный и южный тропические, северный и южный субэкваториальные и экваториальный), простирающихся на материках и океанах. Внутри поясов выделяют распространяющиеся только на материках географические зоны.

Различают широтные и меридиальные (долготные) природные зоны. Первые располагаются с запада на восток, вторые — с севера на юг. В долготном направлении широтные зоны подразделяются на подзоны, а в широтном — на

* Следует иметь в виду известную условность этого положения, особенно в отношении почв. Как отмечал В. И. Вернадский: «На суше органические остатки концентрируются в почвах, которые, однако, никак нельзя рассматривать как косную материю. В почвах живое вещество достигает нескольких десятков весовых процентов; это область наивысшей геохимической энергии живого вещества, важная по своим геохимическим последствиям лаборатория идущих в ней химических и биохимических процессов» (Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера. — М.: Наука, 1994. С. 396).

провинции. Основные причины зональности — форма Земли и ее положение относительно Солнца. На распределение тепла и влаги на Земле помимо широты местности влияют характер рельефа и высота местности над уровнем моря, соотношение суши и моря, морские течения и другие факторы.

Радиационные основы формирования природной зональности были разработаны А. А. Григорьевым и М. И. Будыко. Для установления количественной характеристики соотношения тепла и влаги для различных географических зон ими был определен радиационный индекс сухости как отношение радиационного баланса подстилающей поверхности к сумме тепла, необходимой для испарения годового количества осадков на той же площади.

Специфика климатических условий, в свою очередь, определяет развитие того или иного биома (крупного системно-географического подразделения в пределах природно-климатической зоны). Влага — основной фактор, в зависимости от которого экосистемы делятся на лесные, степные и пустынные. Например, предел устойчивости большинства древесных растений составляет около 750 мм/год, у злаков такой предел значительно ниже — примерно 250 мм/год, кактусы же и другие пустынные растения произрастают при годовом количестве осадков 50 мм.

Одним из важных условий изменчивости организмов и их зонального размещения на земле служит изменчивость химического состава среды. Биогеохимические провинции характеризуются зональностью химического состава почв, а также климатической, фитогеографической и геохимической зональностью. Биогеохимические провинции — это области на поверхности Земли, различающиеся по содержанию (в почвах, водах) химических соединений, с которыми связаны определенные биологические реакции со стороны местной флоры и фауны.

Биотические факторы представляют собой воздействие живых существ друг на друга как основу существования популяций и биоценозов. В связи с этим в данной группе факторов выделяют, во-первых, генетическую ин-

формацию на уровне организмов и популяций (она определяет онтогенез, трофические связи организмов, интенсивность размножения, характер поведения, а также биоценотический и естественный отбор); во-вторых, факторы биоценотической сферы, обуславливающие развитие биоты экосистем (формы воздействия живых существ друг на друга).

Каждый организм постоянно испытывает на себе прямое или косвенное влияние других существ, вступает в связь с представителями своего вида и других видов — растениями, животными, микроорганизмами, зависит от них и сам оказывает на них воздействие. Это обстоятельство служит основанием для выделения следующих биотических факторов.

Фитогенные факторы — это влияние растений (как прямое, так и косвенное). К прямому влиянию относятся механические контакты, симбиоз, паразитизм, поселение эпифитов и др. Например, в агроценозах повиллика полевая паразитирует на люцерне, клевере, вике, чечевице и других растениях. Причем растения при механическом контакте, симбиозе влияют друг на друга, выделяя различные физиологически активные вещества (витамины, антибиотики, ферменты, фитонциды, глюкозиды и др.), которые могут стимулировать или ингибировать рост других растений.

Косвенное влияние может выражаться в благоприятных и неблагоприятных для данного вида изменениях таких экологических факторов, как свет, влага, почвенное питание (фитогенные изменения среды обитания организмов). Например, большинство сорных растений в агроэкосистемах неблагоприятно воздействует на почву, где произрастают культурные растения. Так, пырей выделяет агропирен, ингибирующий не только рост культурных растений, но и прорастание их семян. С другой стороны, если умело использовать фитонцидные свойства различных культур, можно добиться повышения не только урожайности, но и качества плодов, обойтись без пестицидов (люцерна спасает картофель от фузариозного увядания, укроп среди огурцов увеличивает продолжительность плодоношения, а зна-

чит, и урожай; полезно соседство яблони и малины, при этом малина избавляется от серой гнили, а яблоня — от парши).

Зоогенные биотические факторы представляют собой влияние животных (поедание, вытаптывание и другие механические воздействия, опыление, распространение семян и влияние на среду). В частности, эти факторы используют в биологической защите растений открытого грунта. Например, известный яйцепаразит трихограмма находит применение в борьбе с капустной, хлопковой, озимой и другими видами вредителей — совок, а также с кукурузным мотыльком, гороховой плодовой мушкой. Используют и других энтомофагов (хабробракон против гусениц хлопковой совки; интродуцированные хищные насекомые — подизус и периллюс против яйцекладок и личинок колорадского жука на раннем картофеле и баклажанах).

Микробогенные и линсогенные биотические факторы обусловлены влиянием микроорганизмов и грибов (паразитизм, изменение среды). Микроорганизмы (бактерии и грибы) воздействуют на ризосферу и на патогенные организмы. Если микробонаселение ризосферы подвержено изменению, то это сказывается на питании растений в лучшую или в худшую сторону, а также на бактериальном или инфекционном заражении растений. Одно высшее растение может быть промежуточным хозяином патогенного микроорганизма, вызывающего заболевание другого растения. Например, некоторые виды молочаев являются промежуточными хозяевами ржавчины гороха (в эцидиальной стадии), поэтому наличие в посевах гороха молочая опасно.

Антропогенные факторы (от гр. *anthropos* — человек и *genos* — рождение) отражают влияние деятельности человека на окружающую среду. С воздействием антропогенных факторов связано уничтожение продуктов эволюции — многих видов животных и растений, их сложнейших систем совместного существования — биоценозов. Разрушение конкретных экосистем чаще всего обусловлено непосредственным влиянием на них (пожары, резкое изме-

нение почвенного покрова и водного режима); загрязнением различными техногенными веществами; изменениями, связанными с постоянным изъятием фитомассы и зоомассы (особенно в агроэкосистемах) без компенсации потерь; антроподинамическими сменами; коренными превращениями экосистем в культурные экосистемы.

2.2. ДЕЙСТВИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОРГАНИЗМЫ

Адаптация. Все организмы, испытывая действие экологических факторов, приспосабливаются к изменяющимся условиям и поддерживают известное динамическое равновесие, или гомеостаз. Приспособление организмов к среде называют *адаптацией* (от лат. *adaptatio* — приспособлять). При биотеногенезе это процесс приспособления организмов и видов, их строения и функций к условиям абиотической и биоценотической сред, а также к совместному существованию в экосистемах определенного типа. Различаются экологическая (например, устройство нор и т. п.) и этологическая, или поведенческая (например, ночной образ жизни грызунов в песчаной пустыне), адаптации.

Способность к адаптации — одно из основных свойств живого, так как она обеспечивает саму возможность выжить и размножаться. Адаптации проявляются на разных уровнях — от биохимии клеток и поведения отдельных организмов до строения и функционирования отдельных организмов, сообществ и экосистем.

Адаптация — эволюционно возникшее приспособление. В процессе эволюции постоянно совершенствуется адаптация организмов к условиям существования. Например, наиболее теплолюбивые виды, живущие в умеренном климате, способны переносить циклически повторяющиеся периоды холода благодаря соответствующим физиологическим или чисто экологическим адаптациям. При исследовании адаптаций необходимо обращать внимание на характер функционирования отдельных типов зависимостей, чем

на собственно приспособления. Большинство биологических видов приспособлены не к определенным значениям данного фактора, а к пределам его изменчивости в природе, а также к его временным изменениям (флуктуациям).

В то же время на организмы в течение многих поколений воздействует один и тот же комплекс факторов. В результате этого у разных в систематическом отношении организмов путем естественного отбора возникает совокупность морфолого-физиологических адаптации, на основе которых можно выделить сходные группы организмов, названные жизненными формами, или экобиоморфами. Экобиоморфы представляют собой совокупности видов (иногда и внутривидовых таксонов), имеющие сходные формы роста, биологические ритмы, а также эколого-физиологические, в том числе приспособительные и средообразовательные (медиопативные), особенности, полученные в процессе естественного отбора. Сходство обусловлено не только родством видов и форм, но и чаще адаптивной конвергенцией (возникновение сходных внешних признаков в результате аналогичного образа жизни). Классификации экобиоморф строятся на основе двух-трех самых важных характеристик: у растений это морфологические (адаптивные) признаки вегетативных органов и особенности их роста, а у животных — способы добывания пищи и защиты от врагов. Наиболее известны классификации жизненных форм растений К. Раункиера (1903) и И.Г.Серебрякова (1962), животных — Д. Н. Кашкарова (1945).

Биологический оптимум и пределы выносливости. При одних состояниях факторов среды экологические процессы проходят более продуктивно, при других — менее продуктивно. Зависимость действия экологического фактора от его интенсивности называется валентностью экологического фактора и определяет степень адаптированности вида (рис. 2.2).

Для каждого организма существует степень благоприятности экологического фактора, оптимальная для роста, существования и размножения. На рисунке видно, что срединная зона является биологическим оптимумом, где ин-

тенсивность фактора наиболее благоприятна для функционирования организма. По обе стороны от зоны оптимума биологическая активность постепенно снижается, пока наконец экологические факторы не станут такими, при которых организм вообще не может существовать.

Наименьшее допустимое значение данного фактора (его нижняя пороговая величина) называется пессимумом, или нижним пределом выносливости. Наибольшее допустимое значение фактора — максимумом, или верхним пределом выносливости. Заключенный между этими двумя значениями диапазон изменчивости представляет собой пределы выносливости (валентности).

Однако кривая валентности экологических факторов в пределах выносливости не всегда имеет симметричный вид (с центрально расположенной оптимальной зоной). Например, для пресноводных организмов биологический оптимум находится у нижнего предела содержания солей, тогда как для морских организмов он находится на противоположном конце изменчивости фактора.

В то же время толерантность различных организмов по отношению к одному и тому же фактору достаточно специфична. У одних видов зона толерантности весьма обширная, у других — узкая. Организмы, которые могут существовать при большой амплитуде факторов, называют эврибионтными; организмы же, существующие только при малой амплитуде колебания факторов, — стенобионтными. Естественно, что эврибионтные организмы могут при



Рис. 2.2. Зависимость действия экологического фактора от его интенсивности (Степановских, 1997)

прочих равных условиях занимать более обширные пространства. Такие же подразделения организмов возможны и по отношению к любому конкретному фактору: например, эври- и стенотермные (по отношению к температуре), эври- и стенобатные (по отношению к глубинному давлению), эври- и стеногидрические (по отношению к воде) и т. д. (рис. 2.3).

Детальными исследованиями Ю. Одум определена изменчивость толерантности во времени и в пространстве в зависимости от категории особей:

толерантность по отношению к данному фактору и положение зоны оптимума могут быть различными для различных физиологических и экологических функций организма. Например, воздействие температуры от 40 до 45 °С у «холоднокровных» животных сильно увеличивает скорость обменных процессов, но тормозит двигательную активность;

границы экологической толерантности характеризуют не биологические виды, а отдельные их географические популяции;

толерантность организма по отношению к одному и тому же фактору зависит от пола и возраста. Например, у мельничной огневки (вредитель зерновых продуктов) критическая минимальная температура для взрослых особей составляет 22 °С, для гусениц — 7, а для яиц — 27 °С.

Взаимодействие экологических факторов. Сложность действия экологических факторов увеличивается оттого, что в окружающей среде они никогда не действуют изолированно, а всегда комплексно. В связи с этим оптимальная зона и пределы выносливости организма по

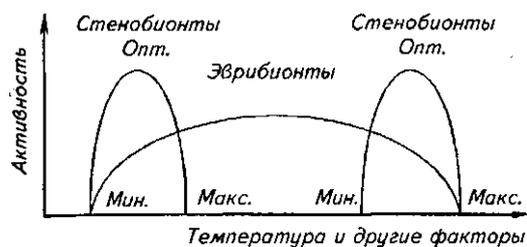


Рис. 2.3. Экологическая пластичность видов (Одум, 1975)

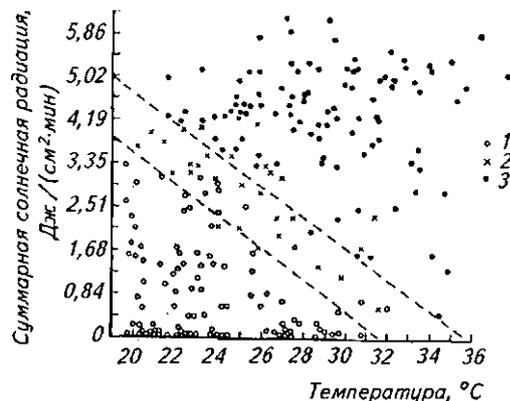


Рис. 2.4. Сочетания температуры воздуха и суммарной радиации, обуславливающие угнетенное состояние овец при скоростях ветра 0...1 м/с:

1 — состояние подопытных животных нормальное (большое); 2 — слабое угнетение; 3 — состояние явного угнетения (Чекерес, 1973)

отношению к тому или иному фактору могут заметно смещаться в зависимости от того, в каком сочетании и с какой силой действуют одновременно другие факторы. Иллюстрацией к сказанному могут служить рисунок 2.4 и таблица 2.1. Граница неблагоприятных для животных температур существенно меняется в зависимости от суммарного значения солнечной радиации, а с увеличением скорости ветра угнетение животных при одной и той же температуре возможно при увеличении радиационного потока. Поэтому выделение из всего многообразия экологических факторов главных в отношении изучаемого явления, определяющих его количественную и качественную стороны, — первостепенная задача, особенно для объектов, важных в экологическом отношении (полезных и ценных видов, леса, здоровья человека и животных, вредителей культурных растений).

2.1. Суммарные значения солнечной радиации, Дж/см²·мин, обуславливающие в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра угнетенное состояние овец (Чекерес, 1973)

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С										
	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	
2	6,07	5,32	4,45	3,77	2,97	2,18	1,42	0,63			
3	6,66	5,86	5,11	4,31	3,52	2,72	1,93	1,13	0,34		
4	7,45	6,62	5,78	4,94	4,14	3,31	2,47	1,63	0,80		
5...6		7,91	6,99	6,07	5,15	4,27	3,35	2,47	1,55	0,63	

По К. А. Куркину, интегральное действие на организм совокупности экологических факторов осложнено явлениями монодоминантности, синергизма, антагонизма и провокационности их совместного действия.

Монодоминантность возникает, если один из факторов, находясь либо в минимуме, либо в максимуме, оказывает столь сильное воздействие, что подавляет влияние всех остальных факторов. Синергизм (взаимоусиление) — действие двух факторов и более. Возникает, например, при одновременном ослаблении или, наоборот, усилении таких факторов, как влажность почвы, содержание в ней нитратного азота и освещенность. Синергизм связан с наличием в биосистеме положительной обратной связи между результатами действия факторов. Антагонизм действия факторов на биосистему взаимно «гасится» и определяется наличием отрицательной связи между результатами воздействия факторов. Провокационное[^] характерна для сочетания стимулирующих воздействий с летальными (повреждающими) и заключается в том, что отрицательные эффекты даже усиливаются.

Одни факторы могут быть ведущими, другие — сопутствующими. В свою очередь, ведущие факторы в различные сезоны, в разных климатических зонах или для различных возрастных групп могут быть неодинаковыми. Так, в агроэкосистемах для прорастания культурных злаков ведущим фактором является температура, в период колошения и цветения — содержание влаги в почве, во время созревания — количество питательных веществ в почве. Таким образом, один и тот же фактор в сочетании с другими оказывает неодинаковое экологическое воздействие и, наоборот, один и тот же результат может быть получен разными путями. Например, увядание растений, можно приостановить как путем увеличения количества влаги в полве, так и снижением температуры воздуха, что уменьшает испарение.

В то же время, согласно правилу В. Р. Вильямса, четыре основных экологических фактора (основные условия жизни) — свет, тепло, питание и вода — являются равнозначными и незаменимыми. Замещаемость основных факто-

ров существует лишь в некоторых пределах. Например, естественное увлажнение (осадки) может быть заменено искусственным (орошение), но не может быть заменено такими факторами, как свет, тепло или почвенное питание. Однако и это правило получило дальнейшее развитие, т. е. доказана все же возможность заменяемости основных экологических факторов другими. Так, известны случаи замещения климатических факторов эдафическими. Например, в Центральной Европе сухие известняковые холмы бывают покрыты, в особенности на южных склонах, средиземноморской растительностью. Это является следствием сухости и теплоты известковых почв, заменяющих южный климат, который «репродуцируется» эдафически.

Таким образом, перечисленные классификации экологических факторов носят условный характер, так как не учитывают функционирования факторов во взаимодействии. С другой стороны, и «природа» экологического фактора, а также характер изменчивости даже в совокупности далеко не определяют экологического действия, так как последнее обусловлено, кроме того, экологическими особенностями организмов. Совокупность факторов воздействует сильнее всего на организмы в те фазы их развития, когда они имеют наименьшую толерантность.

Лимитирующие факторы. В совокупном давлении среды выделяются факторы, которые сильнее всего ограничивают успешность жизни организмов. Такие факторы называют ограничивающими, или *лимитирующими*. В простейшем виде основной «закон минимума», сформулированный Ю. Либихом в 1840 г., касается успешности роста и урожайности сельскохозяйственных культур, зависящих от вещества, находящегося в минимуме по сравнению с другими агрохимическими необходимыми веществами. Позднее (в 1909 г.) «закон минимума» был истолкован Ф. Блэкманом более широко (как действие любого экологического фактора, находящегося в минимуме): факторы среды, имеющие в конкретных условиях наихудшее значение, особенно ограничивают возможность существования

вида в данных условиях вопреки и несмотря на оптимальное сочетание других отдельных условий.

Кроме минимума в «законе толерантности» В. Шелфорда (1913) учитывается и максимум экологического фактора: лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия.

Ценность концепции лимитирующих факторов заключается в том, что дается отправная точка при исследовании сложных ситуаций. Возможно выделение вероятных слабых звеньев среды, которые могут оказаться критическими или лимитирующими. Выявление ограничивающих факторов — ключ к управлению жизнедеятельностью организмов. Например, в агроэкосистемах на сильноокислых почвах урожайность пшеницы можно увеличить, применяя разные агрономические воздействия, но наилучший эффект будет получен только в результате известкования, которое снимает ограничивающее влияние кислотности. Для успешного применения «закона лимитирующих факторов» на практике необходимо соблюдать два принципа. Первый — ограничительный, т. е. закон строго применим лишь в условиях стационарного состояния, когда приток и отток энергии и веществ сбалансированы. Второй учитывает взаимодействие факторов и приспособляемость организмов. Например, некоторым растениям нужно меньше цинка, если они растут не на ярком солнечном свете, а в тени.

Экологическое значение отдельных факторов для различных групп и видов организмов крайне разнообразно и требует грамотного учета.

Пространство экологических факторов. Все живые существа занимают определенное место в пространстве и в ряде случаев конкурируют за это место. Термин «пространство» правильное было бы употреблять для обозначения тех факторов или тех ресурсов, которые из этого пространства можно извлечь. В пространстве содержатся ресурсы, но освоить их можно через овладение пространством. Например, при программировании урожая сельскохозяйственных культур на конкретных территориях

учитывают экологические факторы — солнечную энергию, водный режим почв, режим питания и др. При этом необходимо оптимальное сочетание факторов (их количественных значений), обуславливающее процессы формирования урожая и служащее основой для создания типовых моделей высокопродуктивных агрофитоценозов.

Пространство экологических факторов условно имеет следующие классификационные подразделения: экотоп, биотоп, экологическая ниша, экотип. *Экотоп* (от гр. oikos — дом, жилище и topos — место) — внешние, не относящиеся к биоценотической среде условия жизни. *Биотоп* (от гр. bios — жизнь и topos — место) — однородный в экологическом отношении участок, соответствующий отдельным частям биоценоза или ценоэкосистемы, являющийся местом обитания того или иного вида растений или животных. *Экологическая ниша* — это определенное место, занимаемое организмом и обусловленное его потребностью в питании, территории и функцией воспроизводства. Как бы ни были близки два вида по своей систематике, они всегда занимают разные экологические ниши. Термин «среда обитания» обозначает лишь пространство, где существует и распространяется определенный вид, тогда как термин «экологическая ниша» включает в себя ту функцию, которую выполняет вид в среде обитания. Э. Пианка определяет экологическую нишу как общую сумму адаптации особи или как все разнообразие приспособлений данной особи в определенной среде. Виды, занимающие аналогичные ниши в экосистемах разных континентов или областей, называются экологическими эквивалентами (например, в Евразии в степной экосистеме — сайгак, а в Северной Америке — бизон, в лесных экосистемах Евразии — черника обыкновенная, а на Дальнем Востоке и в Северной Америке ее эквивалент — черника овалнолистная).

Термин «экотип» был впервые использован применительно к некоторым растениям для описания внутривидовых генетически предопределенных локальных соответствий между организмами и средой обитания. При выращивании рас-

тений из разнообразных природных местообитаний в одном общем экотопе в течение одного или нескольких вегетационных сезонов выявлены значительные внутривидовые различия между этими растениями.

Более того, хотя в целом виды и приспособлены лучше к функционированию в некотором узком диапазоне условий среды, нередко популяции вида подразделяются на субпопуляции, или экотипы, встречающиеся в местах с различными экологическими условиями в пределах ареала вида. *Экотипы* (от гр. *oikos* — дом, *typos* — тип) — это экологические расы и разновидности растений и животных, чаще всего находящиеся в пределах непрерывных рядов изменчивости (климатической, эдафической и ценотической). Например, эдафотип меловой формы сосны обыкновенной.

Различные экотипы начали исследовать еще в 30-х гг. XX в. В этом отношении интересная работа была проведена Н. И. Вавиловым. Важнейшие полевые культуры были высеяны на опытных станциях Всесоюзного института растениеводства (ВИР) в различных почвенно-климатических зонах. Эти специальные географические посевы проводились едиными наборами семян экологических типов основных зерновых культур.

В результате была установлена экологическая изменчивость зерновых культур по нескольким ценным практическим признакам. Выявленные признаки легли в основу типовых экологических коллекций по каждой культуре. В результате началась работа по экологической классификации и районированию культурных растений, было дано обоснование грамотному районированию видов и сортов. Выявлены закон гомологических рядов в наследственной изменчивости и центры происхождения культурных видов и сортов.

Проблемы, поставленные Н. И. Вавиловым, не потеряли актуальности и для современных экологических исследований. В частности, целесообразно:

определение в различных биотопах

метеорологических эквивалентов для многих видов растений;

совершенствование в области применения экологических признаков, основанных на теории «скорость—масса—строение», а также последующее изучение факторных колебаний (географические опыты и дифференцированный анализ урожая);

проведение дальнейших географических испытаний как для зерновых, так и для других культурных растений;

определение закономерностей, лежащих в основе сложных взаимоотношений между экотипами сельскохозяйственных растений и экологическими факторами.

Резервы здесь большие. Например, сорт дикой пшеницы из Турции, не культивировавшийся до недавнего времени, был использован для повышения устойчивости (к болезням, вредителям) различных сортов пшеницы. В результате только в США стоимость полученной за год прибавки урожая составила 50 млн долларов США.

Вызывает интерес и изучение устойчивости различных экотипов к загрязнению токсичными тяжелыми металлами (свинцом, цинком, медью и др.). Так, по данным зарубежных исследователей, экотипы растений, занимающих загрязненные участки, существенно разнятся по степени устойчивости к тяжелым металлам, будучи при этом разделенными расстояниями менее чем 100 м. Известен случай, когда некоторые популяции растений, выросшие под изгородью из оцинкованного железа, приобрели устойчивость к цинку менее чем за 25 лет и имели четкие пространственные границы между экотипами. Очевидна необходимость дальнейших экспериментов в биотопах с различными антропогенными и географическими условиями для районирования сельскохозяйственных и лесных культур. Игнорирование границ экологических возможностей приводит к серьезным просчетам. Например, посевы северных сортов пшеницы на острове Ява не оправдали надежд земледельцев на получение 2...3 урожаев в год.

Глава 3

ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ И СООБЩЕСТВ. БИОГЕОЦЕНОЗ

3.1. ПОПУЛЯЦИИ

Понятие «популяция». В современной экологии можно выделить два основных подхода: экосистемный и популяционный. При экосистемном подходе различают структурное направление (главное внимание уделяется изучению строения экосистем) и функциональное (сосредоточено преимущественно на изучении процессов, происходящих в экосистемах).

При популяционном подходе внимание концентрируют в основном на исследовании совокупности особей одного вида (популяции), обитающих на определенной территории. Чаще всего это виды, имеющие важное хозяйственное значение, в том числе промысловые и редкие, а также различные вредители. По теоретическому и прикладному значению, концептуальному содержанию, разнообразию используемых методов этот подход дает возможность решать множество специфических задач, среди которых важнейшей является, например, задача сохранения биоразнообразия. Популяционный подход позволяет, в частности, получить ответы на вопросы: почему те или иные организмы в данный момент встречаются в этом, а не в каком-либо другом месте, почему их численность (или биомасса) именно такая, а не иная, а если и меняется во времени, то почему именно так, а не как-либо иначе.

Каждый существующий в природе вид представляет собой сложный комплекс (систему) внутривидовых групп со специфическими строением, физиологией и поведением. Таким внутривидовым объединением особей и является популяция. Термин «популяция» предложил в 1903 г. датчанин В. Иогансон для определения совокупности особей одного вида, неоднородной в генетическом отношении. В дальнейшем этим термином стали характеризовать состав

вида, занимающего определенную территорию.

По Б. А. Быкову, популяция (от фр. *population* — население) — совокупность особей одного вида, воспроизводящих себя теми или иными способами размножения в течение большого числа поколений, функционирующих в одном или нескольких биоценозах.

Именно в популяциях возникают перестройки, которые затем распространяются на все сообщество. Например, восстановительные смены растительных сообществ, по существу, являются сменами популяций растений с различными жизненными циклами.

Заслуживающее внимания содержательное определение популяции дал Г. А. Новиков. По его мнению, экологическая *популяция* есть совокупность особей данного вида, сложившаяся естественно или возникшая под влиянием человека, объединенная общей, большей или меньшей территорией, известным генетическим родством, принадлежностью, к одному или нескольким биогеоценозам. Члены популяции характеризуются однотипными внешними признаками, сходными адаптациями, единой специфической реакцией на воздействие факторов среды, своеобразным типом динамики численности, демографической и территориальной структурой, общим биологическим сигнальным полем, что в целом обеспечивает популяционный гомеостаз, самостоятельное существование и развитие в течение длительного времени, сопровождаемое соответствующим взаимодействием со средой обитания и влиянием на нее.

Согласно современным представлениям популяция является элементарной единицей эволюционного процесса, поскольку именно на этом уровне начинаются закономерные изменения ее структуры адекватно историческим изменениям взаимоотношений с внешней

средой (происходит эволюция). Будучи территориальным объединением организмов одного вида, популяция обладает единым ритмом основных жизненных процессов и определенными наследственными отличиями от соседних группировок. В эволюции вида выражается интегральный эффект преобразования популяций.

В то же время далеко не каждая совместно обитающая группа организмов является популяцией. Необходимо еще обладать комплексом свойств, обеспечивающих самостоятельное существование и развитие. Таким образом, популяция представляет собой единую функционирующую систему, обеспечивающую в различной среде обитания самостоятельное существование и развитие благодаря замене потерянных веществ новыми. Внутри популяции существуют микропопуляции (элементы структуры популяции), отличающиеся от популяций неспособностью поддерживать свою численность в течение продолжительного времени (локальные и парцеллярные группировки и др.).

Представление о неоднородности популяций впервые возникло у генетиков. Оно основывалось на представлении о наличии внутри популяций группировок особей, отличающихся друг от друга генетически. Н. П. Дубинин ввел аналогичный популяции термин «раса», называя так группу особей, объединенных элементарными генетическими системами.

Однако генетика не могла определить необходимую для популяций степень изоляции, изменчивости, а в итоге и принципы их выделения. Решить этот вопрос могла лишь экология. В связи с этим К. М. Завадский определил следующие общие для всех популяций характеристики: амплитуда различий в выражении какого-либо диагностического признака; гено- и фенотипическая неоднородность вида; значительные индивидуальные различия внутри популяции; выход за рамки вида адаптивных преобразований. Предпосылкой формирования популяций, различающихся по биологическим признакам, служит биологическое состязание, основанное на индивидуальных различиях.

Реализуя одновременно генетический и экологический подходы,

С. С. Шварц дал синтетическое определение популяции как биологического единства, генетические и экологические проявления которого взаимообусловлены. Взаимосвязь экологических и генетических процессов — это тот фон, на котором происходят элементарные эволюционные процессы. Перспективность такого определения популяции, необходимого и для практической деятельности, доказывается следующими положениями: фактором, объединяющим особи в популяцию, признано единство жизнедеятельности (а не генетические или территориальные факторы); основным критерием популяции признана способность к самостоятельному существованию и развитию; популяция признана формой существования вида; внутрипопуляционные группировки могут иметь отличия от собственно популяции.

Классификация популяций. Популяции могут быть разнокачественными по самым различным показателям: способу размножения и степени целостности, морфологическим, физиологическим, поведенческим, размерным и др. Развивая идею синтетического определения популяции, Г. Х. Шапошников предложил наиболее полную их классификацию, выделив: по способу размножения и степени цельности — панмиктические, клональные и клонально-панмиктические популяции; по способности самовоспроизведения и самостоятельной эволюции — перманентные (независимые, полузависимые) и темпоральные (зависимые, временные, псевдопопуляций, гибридогенные) популяции; по структуре — однородные (диффузные и расчлененные на микропопуляции) популяции; по степени гетерогенности и условиям обитания — более или менее гомогенные (однородные) и резко выраженной гетеротопностью популяции; по размерам — элементарные или локальные, экологические, географические и суперпопуляции.

Основные характеристики популяций. Являясь надорганизменной системой, популяция обеспечивает виду потенциальное (но нереальное) бессмертие, т. е. приспособительные возможности у популяции гораздо выше, чем у слагающих ее индивидуумов.

Популяция как биологическая единица обладает определенной структурой и функциями. Под структурой популяции понимают состав особей и их распределение в пространстве.

Очень важно своевременно выявить те особенности популяции, которые дают возможность приспосабливаться к резко изменяющимся условиям существования, и в первую очередь особенности экологической структуры популяции. Чем сложнее структура, тем выше приспособительные возможности популяции. Сложность структуры популяции определяется различным соотношением возрастных групп, полов, наличием различного рода группировок, территориальными взаимоотношениями.

Таким образом, популяции как групповые объединения обладают специфическими свойствами (или имеют определенную биологическую структуру), которые не присущи каждой отдельно взятой особи. К ним относятся: численность и плотность, смертность, возрастная и половая структуры, полиморфизм, эффект группы, рост и развитие.

Численность и плотность — основные показатели биологической структуры популяций. Численность — это общее число особей на данной территории или в данном объеме. Она никогда не бывает постоянной и зависит от многих факторов: биотического потенциала вида*, внешней среды, биоценотической среды, биотических взаимоотношений. Численность постоянно меняется в результате рождения новых особей, гибели от различных причин. На численность влияют такие показатели популяции, как соотношение разнокачественных особей и распределение их в пространстве, особенности поведения. Поддержание оптимальной в данных условиях численности называют *гомеостазом* популяции, который осуществляется через взаимоотношения особей.

Плотность популяции — это число особей или количество биомассы на единицу площади или объема (напри-

мер, 200 деревьев на 1 га, 5 млн диатомовых водорослей на 1 га поверхности водоема и т.д.). Плотность популяции также изменчива и прежде всего зависит от ее численности. Плотность не увеличивается лишь в том случае, если возможно расчленение популяции, расширение ее ареала. В некоторых случаях выделяют среднюю плотность, т. е. численность или биомассу на единицу всего пространства, и удельную, или экологическую, плотность (численность или биомассу на единицу обитаемого пространства, доступного объема, которые фактически могут быть заняты популяцией).

Особи в популяциях по-разному распределены в пространстве. Различают три типа распределения (расселения) особей внутри популяции: равномерное, случайное и групповое (рис. 3.1). Равномерное распределение чаще всего встречается в различных культурных фитоценозах; в природе оно встречается редко и связано с острой конкуренцией между разными особями. Случайное распределение имеет место в однородной среде, нередко переходит в групповое. Групповое распределение особей в популяциях встречается чаще, чем равномерное и случайное, так как группа обеспечивает более высокую устойчивость к неблагоприятным условиям по сравнению с отдельной особью.

При оценке плотности популяций методом выборки необходимо знать тип распределения организмов, поскольку при групповом размещении, например, объем выборки должен быть больше.

При равномерном распределении рассеяние (дисперсия) равно нулю, так как число особей в каждой выборке постоянно и равно среднему. При случайном распределении среднее число особей в выборке и дисперсия равны, при групповом распределении рассеяние выше среднего.

Рождаемость — это способность популяции к увеличению. Она характеризует частоту появления новых особей любого организма независимо от того, рождаются они, отпочковываются или возникают путем деления и т. д.

Различают максимальную, или абсолютную, рождаемость, характеризующую теоретически максимально воз-

* Биотический потенциал — потенциальный рост численности популяции в геометрической прогрессии при ее размножении в неконтролируемых условиях, т. е. без влияния каких-либо внешних факторов.

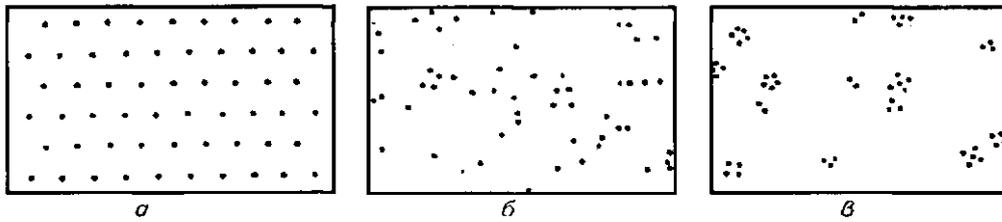


Рис. 3.1. Основные типы распределения особей в популяции:

a — равномерное; *б* — случайное; *в* — групповое (Одум, 1986)

можное образование числа новых особей в идеальных условиях (при отсутствии лимитирующих экологических факторов). Максимальная рождаемость служит критерием для сопоставления с фактической рождаемостью. Кроме того, являясь постоянной величиной, она может быть использована при выведении уравнений для определения и прогнозирования скорости роста популяции. Термин «экологическая рождаемость» или просто «рождаемость» (без какого-либо определения) обозначает увеличение популяции при реальных или специфических условиях среды.

Рождаемость изменяется в зависимости от размера и состава популяции и физических условий среды. Обычно рождаемость выражают в виде скорости и определяют путем деления числа вновь образовавшихся особей на время:

$$B = \Delta N_n / \Delta t,$$

где ΔN — число особей, вновь образовавшихся в популяции; t — время.

Число особей (N) может представлять всю популяцию или только ту ее часть, которая способна к размножению. Выделяют и специфическую рождаемость (например, для разных возрастных групп). Рождаемость может быть нулевой или положительной, но никогда отрицательной.

Смертность характеризует гибель особей в популяции и выражается числом особей, погибших за данный период, или же в виде специфической смертности по отношению к части популяции (по возрастному, половому признакам и др.). Выделяют экологическую, или реализуемую, смертность, т. е. гибель особей в данных условиях среды, изменяю-

щуюся в зависимости от условий среды и состояния самой популяции. Минимальная смертность — постоянная величина, характеризующая гибель особей в идеальных условиях, при которых популяция не подвергается воздействию лимитирующих факторов. Иногда значительно больший интерес представляет не смертность, а выживание. Если число погибших особей обозначить как M , то выживание равно $1-M$.

Так как в природе в большинстве популяций средняя продолжительность жизни намного меньше потенциальной, значение смертности намного превышает минимальное. Целостное представление о смертности в популяциях дают специальные таблицы продолжительности жизни особей («демографические»). Их используют для систематического анализа популяций.

Возрастная структура популяции характеризует соотношение различных особей по возрастам, фазам развития. Это важная характеристика популяции, поскольку влияет на рождаемость, смертность, а также определяет способность к размножению в данный момент и дает возможность оценить перспективы. Обычно в быстрорастущих популяциях распределение возрастных групп более равномерное; в популяциях же с уменьшающейся численностью больше старых особей. Вместе с тем возрастная структура популяции может меняться и без изменения ее численности.

Для каждого вида, а иногда и для каждой популяции внутри вида характерны свои соотношения возрастных групп. На эти соотношения влияют различные факторы: общая продолжительность жизни, время достижения половой зрелости, интенсивность размножения, степень приспособленности к оп-

ределенным условиям. По отношению к популяции выделяют три экологических возраста: предрепродуктивный, репродуктивный и пострепродуктивный. Например, в жизненном цикле растений выделяют периоды первичного покоя (латентный), предгенеративный (виргинальный), генеративный, постгенеративный (старческий, сенильный).

Нормальной полночленной называют популяцию, которая состоит из особей всех возрастных групп. Если особи каких-либо возрастных состояний отсутствуют, то такая популяция называется нормальной неполночленной. Представленность сенильными и субсенильными (старыми) особями и отсутствие молодых особей вызывают регрессию (разрушение) популяции.

Половая структура популяций, особенно доля размножающихся самок в популяции, имеет большое значение для дальнейшего роста численности. Экологические и поведенческие различия между особями мужского и женского полов могут быть сильно выражены, следствием чего при изменившихся условиях являются более высокая вероятность гибели представителей какого-либо пола и изменение соотношения полов в популяции (например, известно, что в засушливый 1975 г. в Зауралье резко уменьшилось число женских форм — у шалфея степного в 10 раз, у спаржи лекарственной в 3 раза). Часто мужские и женские особи различаются по многим физиологическим признакам: темпам роста, срокам полового созревания, устойчивости к изменениям температуры, голоданию и др. Среди цветковых растений встречаются двудомные виды, у которых мужские и женские особи пространственно разобщены (виды ив, тополей, бодяк полевой, шавель малый и др.). Есть виды и с женской двудомностью, когда одни особи имеют обоеполые цветки, а другие — только женские (чабрец Маршалла, мята полевая, герань лесная и др.). Популяции таких видов генетически неоднородны. В них облегчено перекрестное опыление в результате более раннего созревания пыльников по сравнению с пестиками.

Нормальное развитие многих видов возможно лишь при объединении их в

различные группы. Улучшение физиологических процессов, ведущее к повышению устойчивости и жизнеспособности при совместном существовании, называют «эффектом группы». Улучшение обмена информацией, применение сигнализации увеличивают эффективность функционирования группы; в итоге удовлетворяются важные жизненные потребности всех участников группы. Эффект группы сопровождается ускорением роста организмов, повышением плодовитости, увеличением средней продолжительности жизни особей. Многие организмы вне группы не могут даже реализовать плодовитость. Однако положительный эффект группы проявляется не безгранично, а до некоторого оптимального уровня плотности популяции. Слишком интенсивное увеличение численности особей может привести к недостатку ресурсов, и тогда начинают действовать другие популяционные механизмы, направленные на снижение численности особей в группе путем ее деления, падения рождаемости или рассредоточения.

Рост и развитие популяций. Проблемы динамики численности занимают центральное место в экологических исследованиях, поскольку позволяют судить об изменчивости экологических условий жизни. Популяциям свойственны рост, развитие, способность поддерживать существование в постоянно меняющихся условиях. Когда среда не оказывает ограничивающего влияния (пространство, питание не являются лимитирующими факторами), специфическая скорость роста (т. е. скорость роста популяции на особь) для данных климатических условий постоянна и максимальна.

На протяжении популяционных циклов меняются не только численность, но и возрастная и генетическая структуры, физиологические свойства особей и другие популяционные параметры. Необходимы глубокое изучение экологии и популяционной структуры видов растений и животных, прогнозирование изменений численности, формирование стратегии и тактики воздействия на популяции.

Исследуя природные популяции,

важно различать сезонные изменения их параметров, которые регулируются в основном онтогенетическими адаптациями, сопряженными с сезонным изменением факторов среды, а также годовые флуктуации (отклонения величин от их среднего значения). Последние разделяются на флуктуации, обусловленные изменениями физических факторов внешней среды в течение года (внешними по отношению к популяции), и осцилляции (колебания), обусловленные динамическими изменениями популяции (т. е. внутренними ценотическими факторами — хищничеством, болезнями, врожденным типом роста).

Таким образом, на флуктуации всех типов влияют внешние и внутренние факторы. Проблема состоит в том, чтобы установить действительную роль каждого из них или по крайней мере выявить в каждом конкретном случае основной фактор воздействия. Для объяснения циклических изменений плотности популяции целесообразно учитывать теоретические положения метеорологии, случайных флуктуаций, взаимодействия популяций, взаимодействия трофических уровней.

Важнейшей задачей экологического нормирования на популяционном уровне является определение допустимых пределов вариации популяции, не угрожающих ее благополучию. В то же время внешние взаимодействия преломляются через внутривидовые регуляторные механизмы, поэтому реакции таких интегральных показателей, как численность и плотность, на внешние воздействия носит нелинейный характер. Это может приводить к резким изменениям численности без изменений системных механизмов саморегуляции (например, неожиданные вспышки численности насекомых-фитофагов).

Экологическими нормативами на популяционном уровне служат параметры внутри- и межпопуляционного разнообразия (средние величины, коэффициенты вариации, коэффициенты повторяемости и т.д.). В рамках популяционной экологии и генетики разработано множество методов оценки, основанных на качественных (например, генные маркеры, изоферменты) при-

знаках у отдельных особей в популяции и последующем анализе их распределения.

3.2. СООБЩЕСТВА

Понятие «сообщество». Взаимодействия на популяционном уровне отражаются на следующем, более высоком уровне организации живого — на сообществе. Под сообществом понимают совокупность популяций разных видов, сосуществующих в пространстве и времени. Сообщество — общее понятие, прилагаемое к совокупности взаимодействующих живых существ любого ранга.

Наиболее удачным можно считать определение Р. Уиттекера (США, 1970), который сообществом считает совокупность популяций растений, животных и микроорганизмов, взаимодействующих друг с другом в пределах данной среды и образующих особую живую систему со своими собственными составом, структурой, взаимоотношениями со средой, развитием и функциями. Наименьшей единицей, к которой может быть применен термин «сообщество», является биоценоз, занимающий определенный биотоп.

Биоценоз (от гр. *bios* — жизнь и *koinos* — общий), по Б. А. Быкову, — устойчивая система совместно существующих на определенном участке суши или водоема популяций автотрофных и гетеротрофных организмов (биота) и созданной ими биоценотической среды (в том числе почвы, сапротелы, фитоклимата). Понятие «биоценоз» было предложено в 1877 г. немецким зоологом К. Мебиусом. Биоценоз является продуктом естественного отбора. Его выживание, устойчивое существование во времени и пространстве зависит от характера взаимодействия составляющих популяций и возможно лишь при обязательном поступлении извне солнечной энергии.

Ни один биоценоз не может развиваться сам по себе, вне и независимо от среды. В природе складываются определенные комплексы, где организмы связаны между собой сложными биотическими взаимоотношениями и трофическими связями, происходят сложные

процессы (ценокинез) продуцирования и распределения биомассы, круговорот веществ (транслиотические взаимоотношения), биоценотический отбор видов. В экосистеме биоценоз функционирует как продуктивная система, обладающая способностью саморегуляции и восстановления.

Биомассу наземных биоценозов составляют преимущественно высшие растения (продуценты); на массу животных (консументов) приходится лишь 0,001—0,01 % общей биомассы; биомасса же микроорганизмов и грибов (редуцентов) достигает несколько больших величин. Сообщество обладает не только функциональным единством с характерной структурой трофических связей и энергетического обмена, но и некоторым композиционным единством, что обеспечивает возможность сосуществования определенных видов. Однако виды в значительной степени замещают друг друга во времени и пространстве, поэтому функционально сходные сообщества могут иметь различный видовой состав.

Концепция сообщества относится к числу наиболее важных понятий в экологии. В теоретическом плане она объясняет тот факт, что различные организмы обычно образуют упорядоченную систему, а не распространены по Земле спонтанно, как независимые существа. Биотическое сообщество постоянно меняет свой внешний облик (например, летний и зимний лес). Однако оно обладает структурой и функциями, которые можно изучить, описать и которые являются уникальными атрибутами данной группы.

Концепция сообщества имеет большое значение и в экологической практике, поскольку функционирование организма зависит от сообщества. Поэтому если необходимо контролировать какой-либо вид (способствовать его процветанию или, напротив, подавить), то часто лучше модифицировать сообщество, чем предпринимать прямую атаку на этот вид. Например, нужно учитывать, что сорные растения развиваются только при постоянном нарушении почвенного покрова, следовательно, лучший способ борьбы с сорняками, растущими по обочинам дорог, — пре-

крашение перекапывания и вспашки придорожных полос и содействие развитию стабильного растительного покрова, с которым сорняки конкурировать не могут.

Сообщество — не простая сумма образующих его видов, это и совокупность взаимодействий между ними.

Сообществам присущи собственные законы сложения, функционирования и развития, т. е. они представляют собой природные системы. Выделяют следующие важнейшие особенности сообществ как надорганизменных систем (Тишлер, 1971):

сообщества всегда возникают (складываются) из готовых частей — представителей различных видов или целых комплексов их, имеющих в окружающей среде;

части сообщества заменяемы; один вид (или комплекс видов) может занять место другого со сходными экологическими требованиями без ущерба для системы;

сообщества существуют в основном за счет уравнивания противоположно направленных сил; интересы многих видов в сообществах прямо противоположны (например, хищники — антагонисты всех жертв, но тем не менее они существуют в рамках единого сообщества);

сообщества основаны на количественном регулировании одних видов другими;

размеры сообществ определяются внешними причинами, а предельные размеры организмов ограничены их внутренней наследственной программой; так называемые основные сообщества характеризуются большими размерами и завершенностью организации, что обеспечивает им относительную независимость; мелкие сообщества в той или иной степени зависят от соседних сообществ;

сообщества часто имеют расплывчатые границы, иногда неумовимо переходя одно в другое; однако они вполне объективно, реально существуют в природе.

Изменения в сообществах. Сообщества находятся в состоянии внутреннего подвижного равновесия, постоянно претерпевая изменения. Эти изменения

могут быть обратимыми и необратимыми, в том числе эволюционными. Необратимые во времени последовательные смены, например фитоценозов, происходящие на одной и той же территории, называются *сукцессиями*. Сукцессии ведут к формированию или восстановлению устойчивого, стабильного фитоценоза или же, наоборот, к его дигрессии — ухудшению состояния, неустойчивости, распаду.

Экологическая сукцессия развивается под воздействием естественных или антропогенных факторов и представляет собой последовательную смену одной экосистемы другой. Это упорядоченный процесс развития экосистемы, обусловленный изменением во времени ее видовой структуры. Данный процесс имеет определенную направленность, поэтому его можно предвидеть, прогнозировать. Сукцессия происходит в результате изменения физической среды под влиянием самого сообщества. Она как бы контролируется сообществом. Одновременно физическая среда определяет характер сукцессии, скорость изменений и нередко пределы развития. Сукцессию может характеризовать соотношение валовой продукции и дыхания. В молодом возрасте валовая продукция формируется так, что уровень первичной продукции, или видовой фотосинтез (П), превышает уровень дыхания сообщества (Д), т. е. соотношение П:Д больше единицы. Это показатель развивающейся системы. С развитием экосистемы соотношение энергии, которая накапливается в результате фотосинтеза (первичная продукция), к расходуемой на дыхание энергии приближается к единице. Это означает, что в зрелых экосистемах наблюдается тенденция к равновесию между энергией, связанной в виде органического вещества, и энергией, расходуемой на поддержку системы (дыхание). Таким образом, соотношение фотосинтеза и дыхания может служить функциональным показателем относительной зрелости экосистемы.

От необратимых смен (сукцессии) следует отличать *флуктуации* — изменения, относящиеся к ритмике фитоценозов (например, смена доминант в луговых ценозах в зависимости от погодных

условий). Сукцессии и флуктуации в растительных сообществах проходят на фоне филоценогенеза, вековых (голоценогенетических) смен — исторического процесса формирования и развития новых фитоценозов. Вековые смены проходят очень медленно и захватывают обширные территории; они связаны с климатическими изменениями, изменениями флористического состава и тому подобными процессами, малозаметными на протяжении десятилетий и даже веков.

Структурная организация сообществ.

Под структурой любой системы понимают закономерности в соотношении и связях ее частей. Э. Пианка (1981) к структуре сообществ относит: всевозможные способы связей и взаимодействия между отдельными компонентами сообщества (например, тип распределения ресурсов и пространственно-временное обилие видов); свойства, обусловленные этими взаимоотношениями и проявляющиеся на уровне сообщества (трофические уровни, скорости и эффективности связывания энергии и ее переноса, круговорот питательных веществ, сукцессия и т. п.).

Основные показатели структуры сообщества — число составляющих его видов и их относительное обилие. Под видовой структурой сообщества понимают разнообразие представленных в нем видов и соотношение их численности или массы. Общее число видов растений, животных и микроорганизмов, свойственных сообществу или биоценозу данного типа, более или менее постоянно, а между биоценозами различных типов оно сильно варьирует. Наиболее богаты по видовому составу биоценозы влажных тропиков; биоценозы умеренного пояса беднее; биоценозы аридных и холодных регионов еще беднее.

Один из способов охарактеризовать сообщество — пересчитать входящие в него виды или составить их список. Однако на практике нередко это трудно сделать (отчасти из-за проблем таксономического порядка, а еще потому, что в отдельном районе удастся проанализировать лишь небольшую выборку организмов). Число же отмеченных видов зависит от числа взятых проб или размеров изученного местообитания.

В то же время, когда состав сообще-

ства характеризуется лишь числом входящих в него видов, полностью игнорируется такой важный параметр, как количественные соотношения между ними. При этом утрачивается информация о редкости одних видов и обычности других. Например, чисто интуитивно сообщество из семи видов с одинаковой численностью представляется более разнообразным, чем то, в котором 40 % всех особей относится к самому обычному из них и только по 5 % — к трем самым редким. При этом видовое богатство обоих сообществ одинаково.

Наиболее простой параметр сообщества, учитывающий как число видов, так и соотношение их обилия, — индекс разнообразия Симпсона. Его рассчитывают, определяя для каждого вида долю особей (или биомассы) в общей численности (или биомассе) выборки:

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S P_i^2},$$

где S — общее число видов в сообществе (видовое богатство); P_i — доля i -го вида.

При помощи индекса Симпсона можно оценить видовое богатство сообщества.

При условии, что $D_{\max} = S$, равномерность распределения будет:

$$E = \frac{D}{D_{\max}} = \frac{1}{S \sum_{i=1}^S P_i^2}.$$

Этот показатель меняется от 0 до 1.

Часто применяют другой индекс разнообразия — Шеннона:

$$H = \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i.$$

Равномерность же распределения будет:

$$J = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i}{\ln S}.$$

Частоту встречаемости, или равномерность распределения, вида в биоценозе можно рассчитывать и как отношение

(в процентах) числа проб и учетных площадок, где встречается вид, к общему числу таких проб или площадок. Постоянные виды встречаются более чем в 50 % выборок, добавочные виды — в 25...50 % выборок, случайные виды — менее чем в 25 % выборок. Частоту встречаемости характеризует индекс дисперсии:

$$J_d = \frac{nm}{N},$$

где n — число проб, где встречен вид; m — число всех исследуемых проб; N — общее число обнаруженных экземпляров.

Среди видов, образующих сообщество, выделяют доминанты, или преобладающие по численности. Разным систематическим группам организмов свойственны свои доминанты. Виды, живущие за счет доминантов, называют преобладающими. Доминанты, которые определяют характер и структуру сообщества, называют эдификаторами (в степях — ковыль, типчак).

Существуют и другие аспекты разнообразия, иногда более важные для анализа структуры сообщества. Например, у многих видов может быть неодинаковой доля разных стадий жизненного цикла (например, соотношение головастика и лягушек, гусениц и бабочек). Другой аспект — характеристика сообщества с точки зрения урожая на корню, скорости образования биомассы растений, ее использования и превращения гетеротрофными организмами (питающимися преимущественно органическим веществом). Везде, где условия абиотической среды близки к оптимальным для жизни, возникают богатые видами и, как правило, устойчивые сообщества (например, тропические леса, коралловые рифы). Здесь небезынтересно вспомнить известный в кибернетике закон Эшби: системы, состоящие из большого числа разнородных элементов, менее подвержены колебаниям.

3.3. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ В БИОЦЕНОЗЕ

Пищевые сети и трофические уровни.

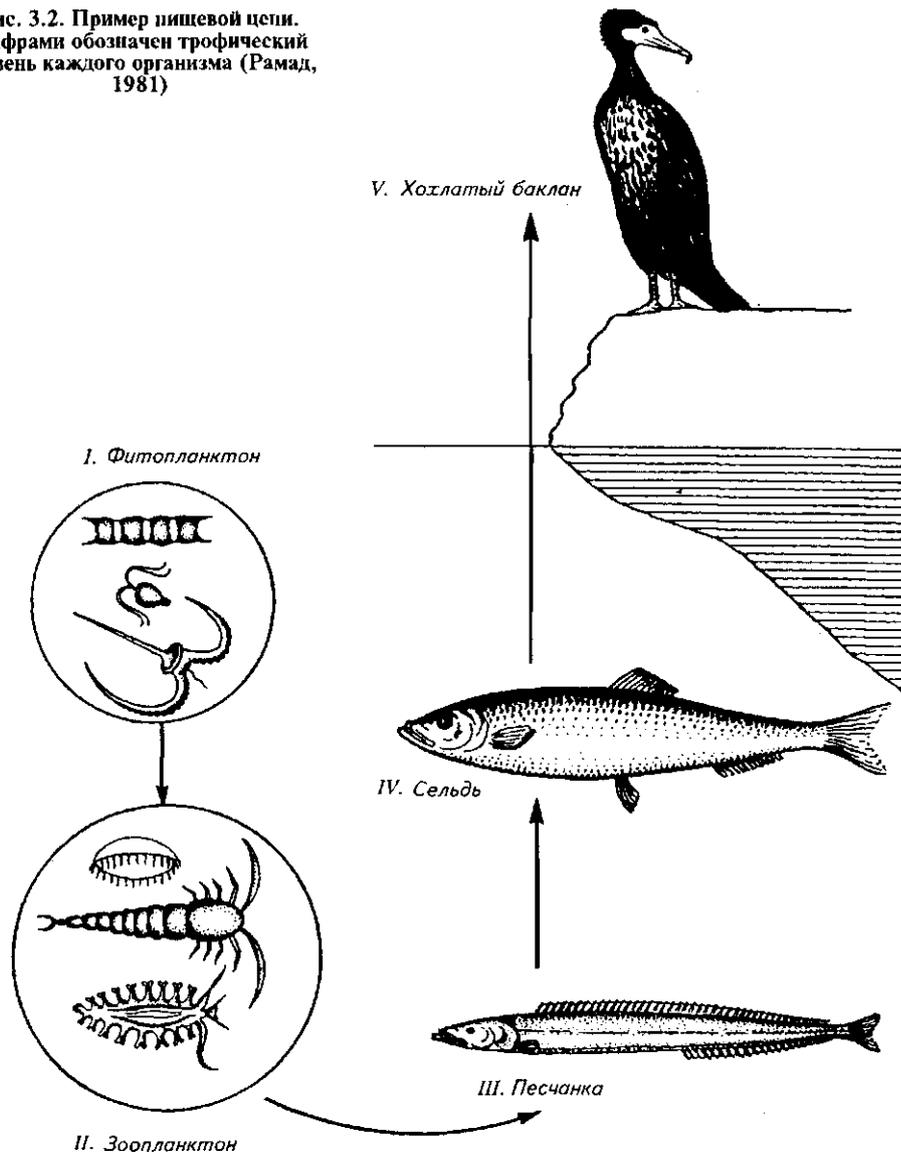
Любое сообщество можно представить в виде пищевой сети, т. е. схемы всех тро-

фических (пищевых) связей между видами, входящими в его состав. Пищевая сеть обычно состоит из нескольких пищевых цепей, каждая из которых является отдельным ее каналом (рис. 3.2 и 3.3). Первый трофический уровень представлен первичными *продуцентами*, или автотрофами. К ним относятся все зеленые растения, которые используют солнечный свет для образования органического вещества. Все остальные организмы, входящие в состав сообщества, прямо или косвенно зависят от

снабжения энергией, аккумулированной растениями.

Помимо первичных продуцентов в сообщества входят гетеротрофы, которые представлены *консументами* и деструкторами. Так, второй трофический уровень образуют травоядные животные, называемые первичными консументами. Плотоядных, питающихся травоядными, называют вторичными консументами, или первичными хищниками. Хищники, питающиеся первичными хищниками, образуют четвер-

Рис. 3.2. Пример пищевой цепи. Цифрами обозначен трофический уровень каждого организма (Рамад, 1981)



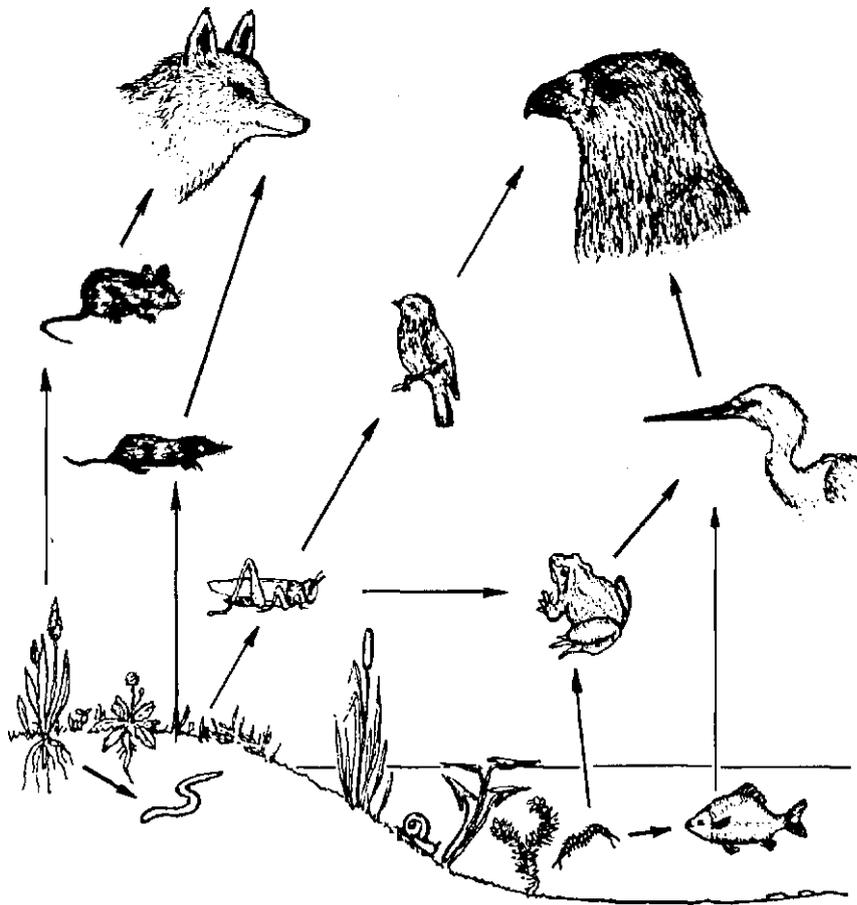


Рис. 3.3. Пищевые цепи в экосистеме (Акимова, Хаскин, 1994)

тый трофический уровень и называются вторичными хищниками и т. д. Многие животные питаются как растениями, так и животными; их невозможно отнести к определенному уровню.

Важным компонентом сообщества являются *деструкторы*, или редуценты (организмы, в основном бактерии и грибы, превращающие органические остатки в неорганические вещества). Их функциональная роль заключается в возврате первичных элементов в фонд питательных веществ.

В сообществе бывает от двух до пяти трофических уровней, но чаще всего их три или четыре. Все звенья пищевой цепи среди гетеротрофов характеризуются одной и той же особенностью: максимум 30 %, а то и всего лишь 1 % энергии, потребленной на одном тро-

фическом уровне, доступно для поглощения с пищей на следующем уровне. Дополнительные (более 3...4) трофические уровни просто не смогут существовать за счет имеющейся энергии (рис. 3.4). На рисунке пирамида биомасс перевернута, звено продуцентов направлено к потоку энергии Солнца.

Внутри биоценоза формируются в той или иной степени тесные группировки, комплексы популяций, которые зависят от растений-эдификаторов или от других элементов биоценоза. Л. Г. Раменский назвал их консорциями. *Консорция*— это совокупность популяций организмов, жизнедеятельность которых в пределах одного биоценоза трофически или топически (они имеют общие местообитания) связана с центральным видом — автотрофным ра-

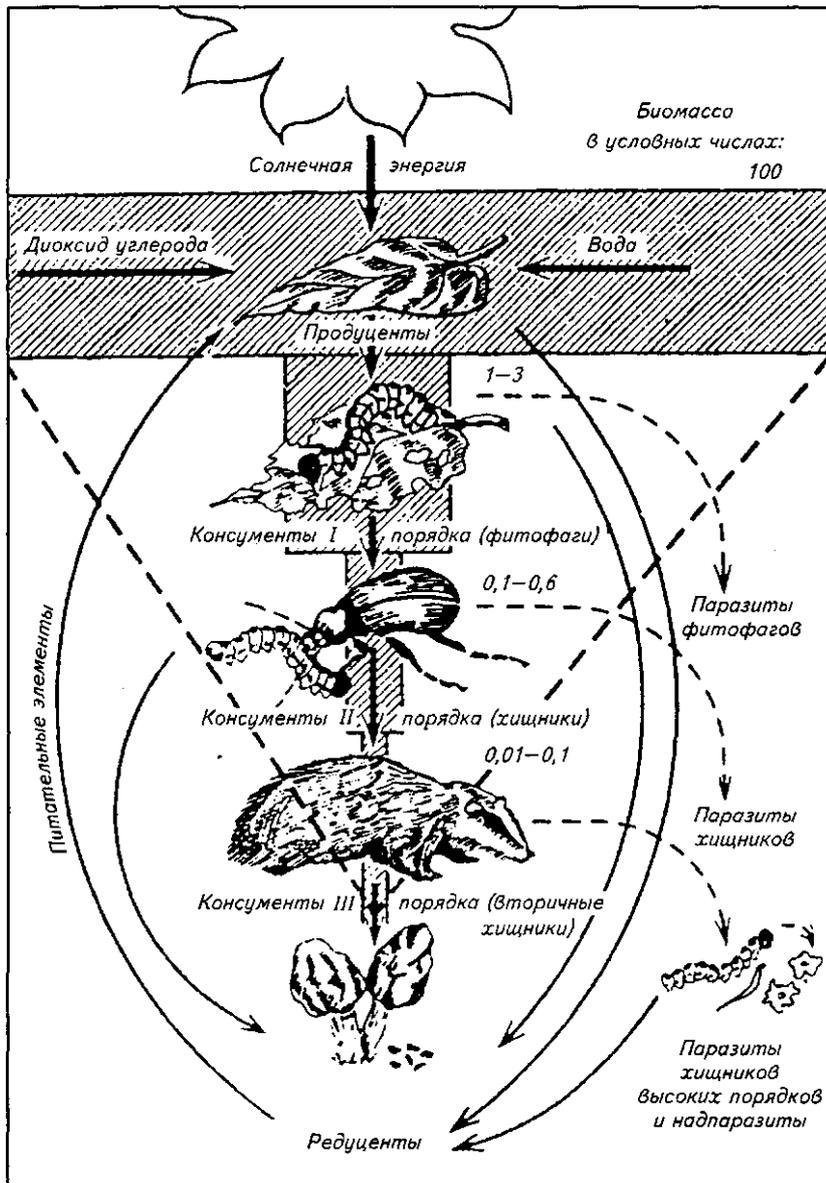


Рис. 3.4. Трофические уровни в экосистеме и пирамида биомасс (Реймерс, 1990)

стением. Например, различные фитофаги-листоеды, поедающие древесину, плоды, связаны с деревом трофически, в то время как эпифиты, насекомые, птицы связаны топически.

Пространственная структура биоценоза определяется прежде всего сложением его растительной части — фитоценоза, распределением наземной и подземной массы растений. В ходе длитель-

ного эволюционного развития, приспосабливаясь к определенным абиотическим и биотическим условиям, живые организмы так разместились в биоценозе, что практически не мешают друг другу. Их распределение носит ярусный характер. *Ярусность* — явление вертикального расслоения биоценозов на разновысокие структурные части. Особенно четко она выражена в раститель-

ных сообществах (фитоценозах). Ярусность способствует увеличению числа организмов на единице площади, ослаблению конкуренции, полному использованию условий среды. В лесу обычно выделяют 5...6 ярусов. Выражена ярусность и в травянистых сообществах, но менее отчетливо — здесь ярусов меньше.

В биоценозе вертикальное распределение организмов обуславливает определенную структуру и в горизонтальном направлении. Расчлененность в горизонтальном направлении получила название *мозаичность*; она свойственна практически всем фитоценозам. В их пределах выделяют такие структурные единицы, как микрогруппировки, микроценозы, микрофитоценозы, синузии, парцеллы. Причинами мозаичности являются также неоднородность микрорельефа, средообразующее влияние растений и их биологические особенности. Мозаичность может быть результатом антропогенных воздействий (выборочные рубки, кострища и др.) или жизнедеятельности животных (выбросы почвы, образование муравейников, вытаптывание травостоя копытными). *Синузии* как структурные единицы характеризуются определенным видовым составом и эколого-биологическим единством входящих в них видов (синузия

сосны, синузия брусники). *Парцеллы* в отличие от синузий — комплексные единицы, отличающиеся составом, структурой, свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена (рис. 3.5).

Экологическая структура биоценоза характеризуется составом экологических групп организмов, выполняющих в сообществе в каждой экологической нише определенные функции. Экологические группы организмов, занимая сходные экологические ниши, в разных биоценозах могут иметь разный видовой состав. Так, на увлажненных территориях доминируют гигрофиты, а в сухих аридных условиях — склерофиты и суккуленты. Экологическую структуру биоценоза отражает и соотношение групп организмов, объединяемых сходным типом питания. Например, в лесах преобладают сапрофаги (питающиеся органическими остатками), в степных зонах — фитофаги (питающиеся растениями). Экологическая структура биоценоза в комплексе с видовой и пространственной служит его характеристикой и дает возможность определить свойства того или иного биоценоза, выяснить его устойчивость в пространстве и во времени, а также прогнозировать последствия изменений, вызванных антропогенным воздействием.

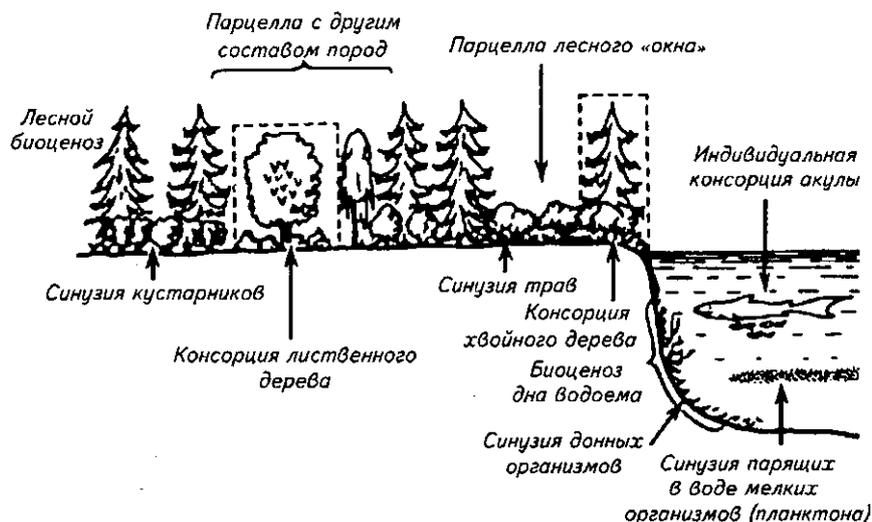


Рис. 3.5. Консорция, парцелла и синузия (Реймерс, 1990)

Многообразие взаимоотношений в биоценозе. Разнообразие форм биотических отношений, в которые вступают те или иные виды в биоценозе, определяет основные условия их жизни, возможности добывания пищи и завоевания нового жизненного пространства. Взаимодействия популяций двух видов могут быть для них нейтральными (00), отрицательными (— —), положительными (+ +), нейтральными для одного и отрицательными для другого (0 —), положительными для одного и отрицательными для другого (+ —).

Хищничество (+ —) — такой тип взаимоотношений, когда один вид живет за счет другого, нанося ему ущерб. В основе этих отношений лежат пищевые связи. Как правило, хищник вначале убивает добычу, а затем поедает ее. Однако у жертв исторически вырабатываются защитные свойства в виде анатомо-морфологических, физиологических, биохимических и других особенностей (выросты тела, шипы, ядовитые железы и др.). В результате таких взаимоотношений сформировались механизмы регуляции численности обоих компонентов системы. Под прессом хищника постоянно улучшается состав популяций тех или иных организмов. Эта борьба взаимно противоположных начал является движущей силой эволюции как хищника, так и жертвы.

Паразитизм (+ —) — один вид живет за счет другого (хозяина), поселяясь внутри или на поверхности его тела. Паразитизм возник в процессе тесного контакта различных видов, а также на основе пищевых и пространственных связей и характерен для многих организмов, но наиболее широко распространен среди низших и мелких растений и животных (бактерий, вирусов, грибов, простейших, червей, иногда членистоногих).

Конкуренция (— —) — популяции в борьбе за пищу, местообитание и другие необходимые для жизни условия воздействуют друг на друга отрицательно. Конкуренция является одной из причин того, что два вида, мало отличающиеся спецификой питания, поведения, образа жизни, редко сожительствуют в одном сообществе. Такая конкуренция носит характер прямой вражды. Чаше

конкуренция проявляется косвенно. Чем разнообразнее возможности организмов биоценоза, тем менее направленной будет конкуренция.

Существует математическая модель межвидовой конкуренции, называемая уравнениями Лотки—Вольтерры и известная как модель «хищник—жертва». Модель представляет собой систему из двух дифференциальных уравнений, вытекающих из уравнений логистического роста. Одно из уравнений описывает скорость изменения популяции хищника, другое — его жертвы. Для случая конкуренции, происходящей в ограниченном пространстве, для каждой популяции имеется определенный уровень равновесия, характеризующийся величиной K .

Уравнения одновременного роста можно записать в следующей форме:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1},$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2},$$

где N^1 и N^2 — численность первого и второго видов соответственно; α — коэффициент конкурентного давления одной особи второго вида на популяцию первого; β — коэффициент конкурентного давления одной особи первого вида на популяцию второго; коэффициенты конкуренции обычно меньше единицы; r — удельная скорость изменения популяции.

Из приведенных уравнений видно, что исход конкуренции зависит от значений параметров K^1 , K^2 , α , β . Так, если α или N^2 равны нулю, то численность первого вида изменяется в соответствии с логистической кривой, конкуренция отсутствует; N^1 не увеличивается, когда $N^2 = K^1/\alpha$, а когда N^1 достигает величины K^2/β , не возрастает N^2 . Исход конкуренции может быть показан в виде таблицы (табл. 3.1).

3.1. Исход конкуренции двух видов

	$K^2/\beta < K^1$	$K^2/\beta > K^1$
$K^1/\alpha < K^2$	Каждый вид может быть победителем	Всегда побеждает второй вид
$K^1/\alpha > K^2$	Всегда побеждает первый вид	Ни один вид не подавляет другой (устойчивое соуществование)

Мутуализм, или симбиоз (+ +), представляет собой обоюдовыгодное сожительство разных видов. Например, лишайники — не что иное, как симбиоз между водорослями и грибами; высшие растения, частично усваивая гифы грибов, получают дополнительно азотное питание и, в свою очередь, подкармливают грибы продуктами фотосинтеза (эндотрофная микориза).

Формирование полезных симбиотических связей исключительно важно для оптимизации функционирования агроэкосистем, более полного использования природного потенциала (рис. 3.6).

Комменсализм (+ 0) — взаимоотношения на базе пищевых связей, при которых один из видов извлекает выгоду, а для другого они безразличны. Обычно мелкие организмы, поселяясь возле или внутри крупных, пользуются не только территорией, но и остатками пищи последних (например, песцы в тундре следуют за белым медведем и доедают остатки его пищи). Когда питание комменсалов становится вредным для партнера, тогда комменсализм граничит с паразитизмом.

Аменсализм (— 0) — взаимоотношения, при которых возникают отрицательные условия для одной или нескольких популяций в результате интоксикации среды. Например, взаимоотношения плесневых грибов с бактериями. Аменсализм — одна из форм антибиоза, или крайняя форма аллелопатии (взаимодействие организмов посредством специфически действующих химических продуктов обмена веществ).

3.4. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

Понятие «экосистема». *Экосистемы* (от гр. oikos — дом, родина и systema — целое, составленное из частей, соединение) — исторически сложившиеся в биосфере и на той или иной территории или акватории открытые, но целостные и устойчивые системы живых (автотрофных продуцентов, гетеротрофных консументов и редуцентов) и неживых (абиотическая среда) компонентов.

Экосистемы характеризуются потоками энергии и возможностью накопления ее, внутренними и внешними круговоротами веществ, обладают способностью регулировать все процессы. Исследования экосистем должны быть направлены прежде всего на выяснение состояния и тенденций их изменения, допустимых размеров их продукции, путей восстановления и охраны.

Экосистема — основная функциональная единица в экологии, так как в нее входят организмы и неживая среда, т. е. компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга и обеспечивающие необходимые условия для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле. Автор термина «экосистема» А. Тенсли представлял ее как сочетание биотопа и биоценоза.

Биотоп и биоценоз влияют друг на друга, что проявляется главным образом в непрерывном обмене веществом и энергией как между двумя составляющими, так и внутри каждой из них.

Экологическая система — это любое

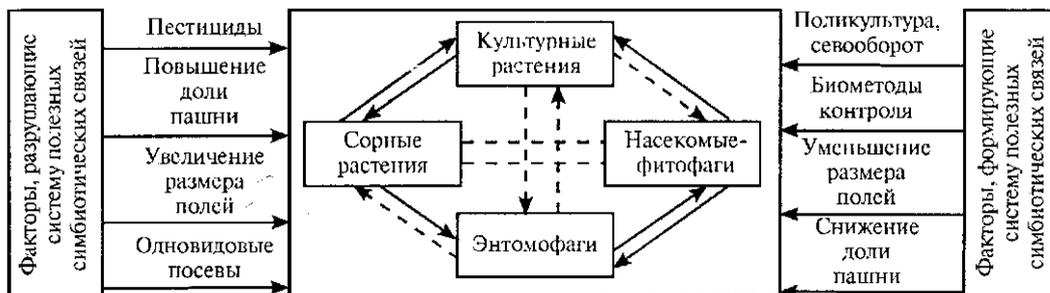


Рис. 3.6. Система полезных симбиотических связей в наземной части агроэкосистемы (Миркин, Хазиахметов, 1995)

сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами. Экосистема включает сообщества (фитоценозы, зооценозы, микробоценозы, микоценозы), объединяемые трофическими и хорологическими (пространственными) связями; факторы среды — экотоп-климатоп и эдафотоп (почвенно-грунтовые условия) (Реймерс, 1990).

По своей сущности экосистема представляет собой комплекс, в котором между биотическими и абиотическими компонентами происходит обмен веществом, энергией и информацией. Экосистема — понятие безразмерное. В качестве экосистемы можно рассматривать и грядку в теплице, и пруд, и луг, и лес, и космический корабль, и биосферу в целом. К основным экосистемам мира относятся: моря, речные дельты, морские побережья, потоки, реки, озера и пруды, топи, болота, леса, тундры, травяные ландшафты (степи), пустыни. Некоторые экосистемы показаны на рисунках 3.7, 3.8, 3.9. Обращаясь к этим рисункам, можно составить определенное представление о структуре и складывающихся взаимосвязях в трех существенно отличающихся одна от другой экосистемах.

Природные экосистемы — открытые системы, поэтому важно рассматривать среду на входе и выходе. Возможные изменения среды сильно варьируют и зависят от нескольких переменных: размеров системы (чем она больше, тем меньше зависит от внешних влияний); интенсивности обмена (чем он интенсивнее, тем больше приток и отток веществ и энергии); сбалансированности автотрофных и гетеротрофных процессов (чем сильнее нарушено это равновесие, тем больше должен быть внешний приток веществ и энергии для его восстановления); стадии и степени развития экосистем.

Энергообмен в экосистемах. Экосистемная организация — одно из необходимых условий существования жизни. Однако запасы биогенных элементов, из которых строят тела живые организ-

мы, не безграничны. Лишь система круговоротов могла придать этим запасам «свойство бесконечности», необходимое для продолжения жизни. Жизнедеятельность организмов и круговорот веществ и энергии в экосистемах возможны только за счет постоянного притока энергии.

В конечном итоге вся жизнь на Земле существует за счет энергии Солнца, которая переводится синтезирующими организмами в химические связи органических соединений. Гетеротрофы получают энергию с пищей. Все живые существа являются объектами питания других, т. е. связаны между собой энергетическими отношениями. Энергетические затраты на поддержание всех метаболических процессов условно называют тратой на дыхание, так как общие их масштабы можно оценить, учитывая выделение CO_2 организмом (рис. 3.10, 3.11).

Меньшая часть усвоенной пищи трансформируется в ткани самого организма, т. е. идет на рост или откладывание запасных питательных веществ, увеличение массы тела. Эти отношения можно выразить формулой

$$P = П + Д + Н,$$

где P — рацион консумента, т. е. количество пищи, съедаемой им за определенный период времени; $П$ — продукция, т. е. траты на рост; $Д$ — траты на дыхание, т. е. на поддержание обмена веществ за тот же период; $Н$ — энергия неувоенной пищи, выделенной в виде экскрементов.

Коэффициент использования потребленной пищи на рост

$$K = П/P.$$

Трофические цепи, которые начинаются с фотосинтезирующих организмов, называют цепями выедания (пастбищными, цепями потребления), а цепи, которые начинаются с отмерших остатков растений, трупов и экскрементов животных, — детритными цепями разложения. Трофические цепи не изолированы одна от другой; тесно переплетаясь, они образуют трофические сети. Благодаря трофическим связям в экосистеме происходит трансформация биогенных веществ и аккумуляция энергии с последующим распределени-

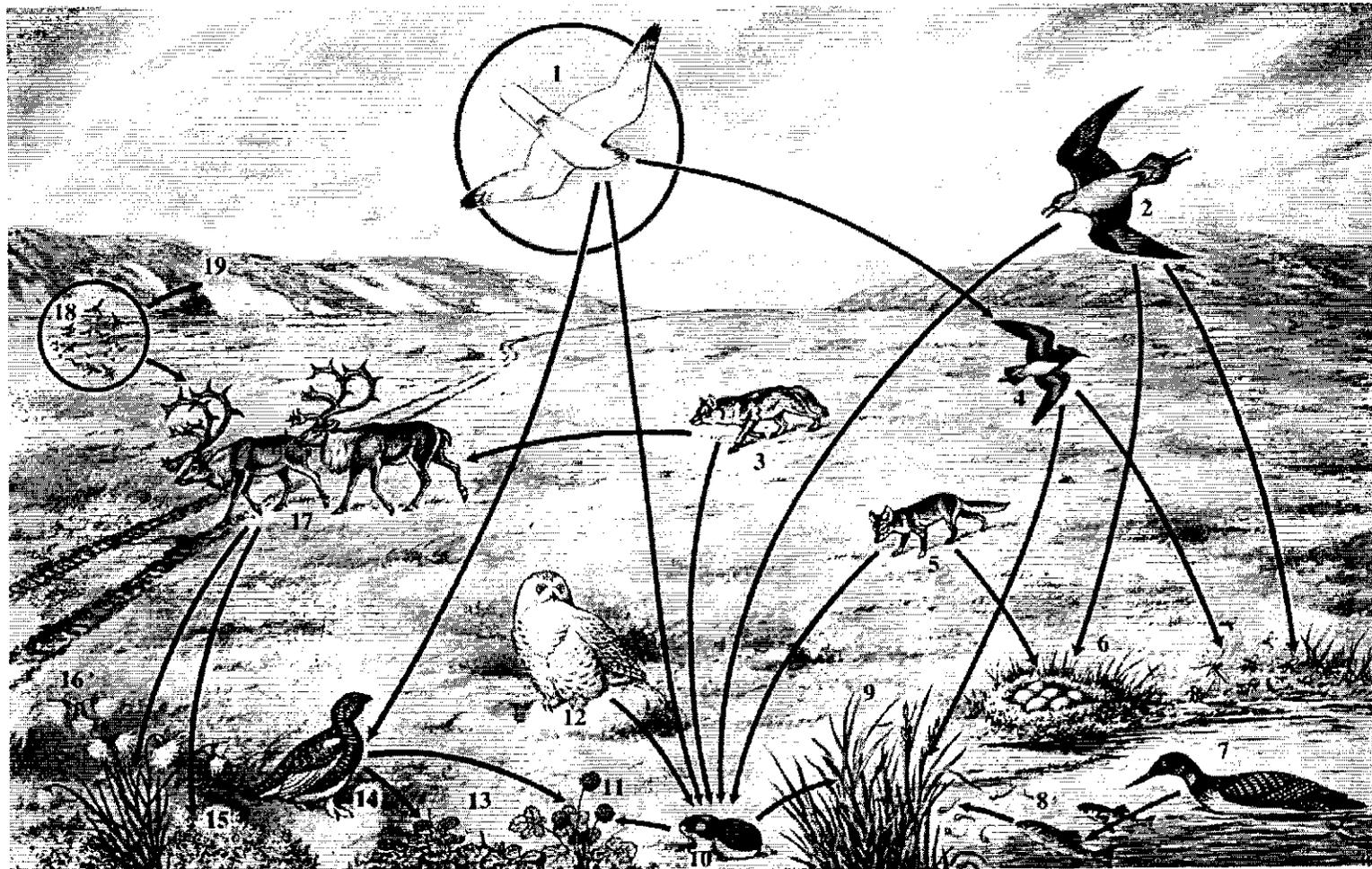


Рис. 3.7. Тундровое сообщество:

1 — морской сокол; 2 — поморник; 3 — волк; 4 — турухтан; 5 — полярная лиса; 6 — гнездо гаги обыкновенной; 7 — полярная гагара; 8 — москиты, личинки комара, головастики; 9 — осока, камыш; 10 — лемминг; 11 — морошка; 12 — снежная сова; 13 — карликовая береза; 14 — белая куропатка; 15 — олений мох; 16 — пушица; 17 — северный олень; 18 — кровососущие насекомые; 19 — теплокровные животные (Забелин и др., 1987)

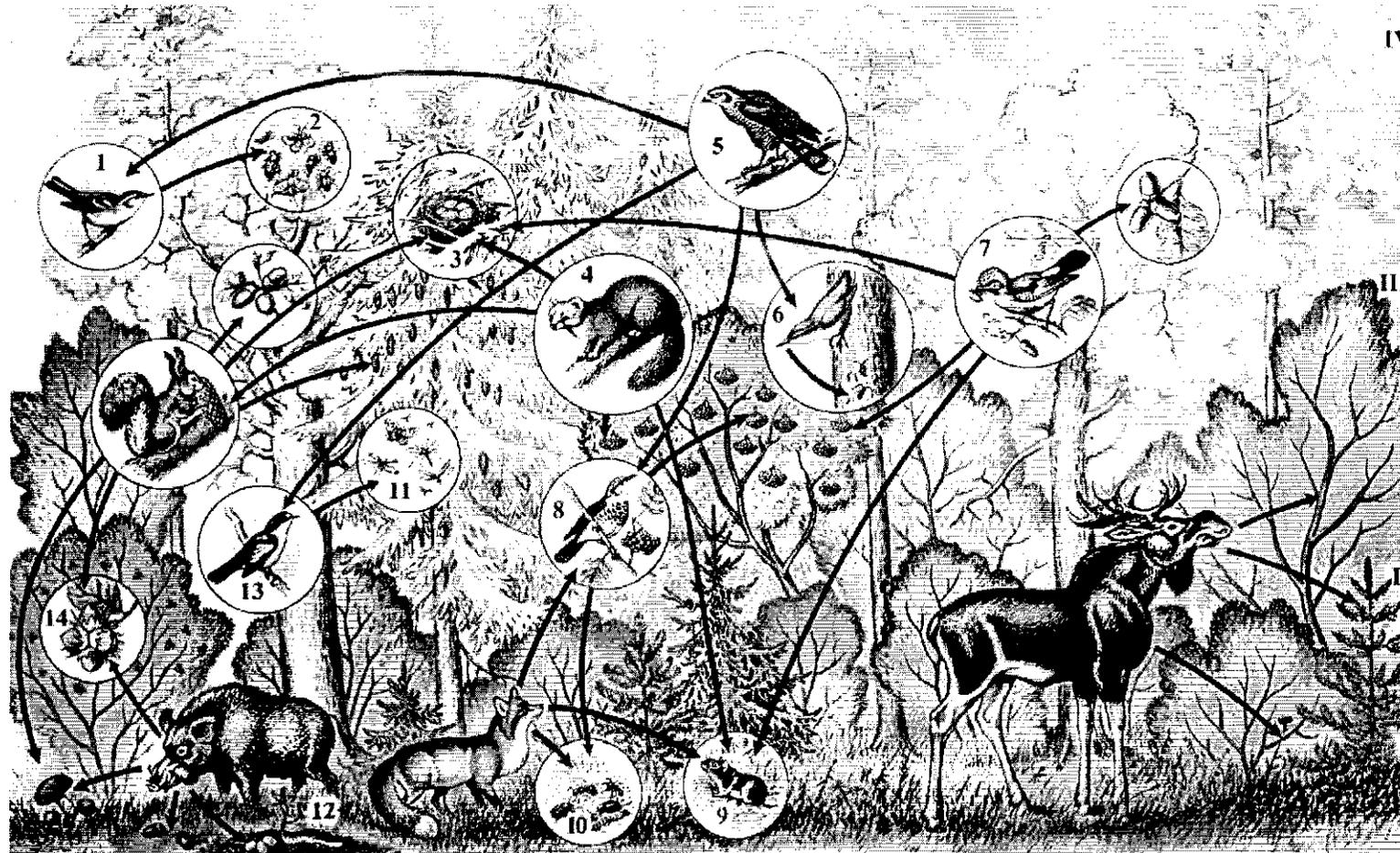


Рис. 3.8. Смешанное лесное сообщество:

I — травяной ярус; II — кустарниковый ярус; III — граница второго яруса; IV — первый лесной ярус; / — певчая птица; 2 — насекомые; 3 — гнездо; 4 — куница; 5 — ястреб-перепелятник; 6 — поползень; 7 — сойка; А* — дрозд; 9 — мыш-полевка; 10 — насекомые; Л — летающие насекомые; 12 — клубни и побеги; 13 — мухоловка; 14 — обыкновенный орех (Забелин и др., 1987)

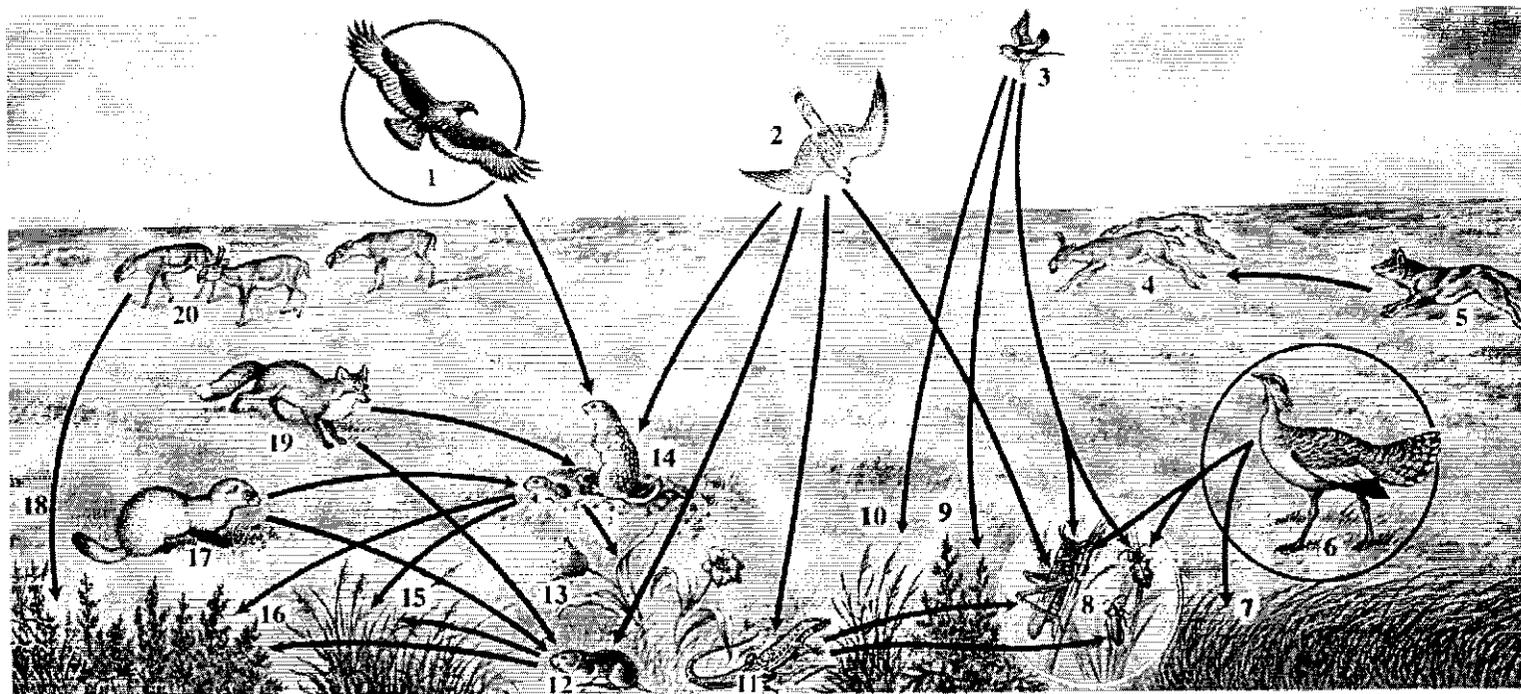
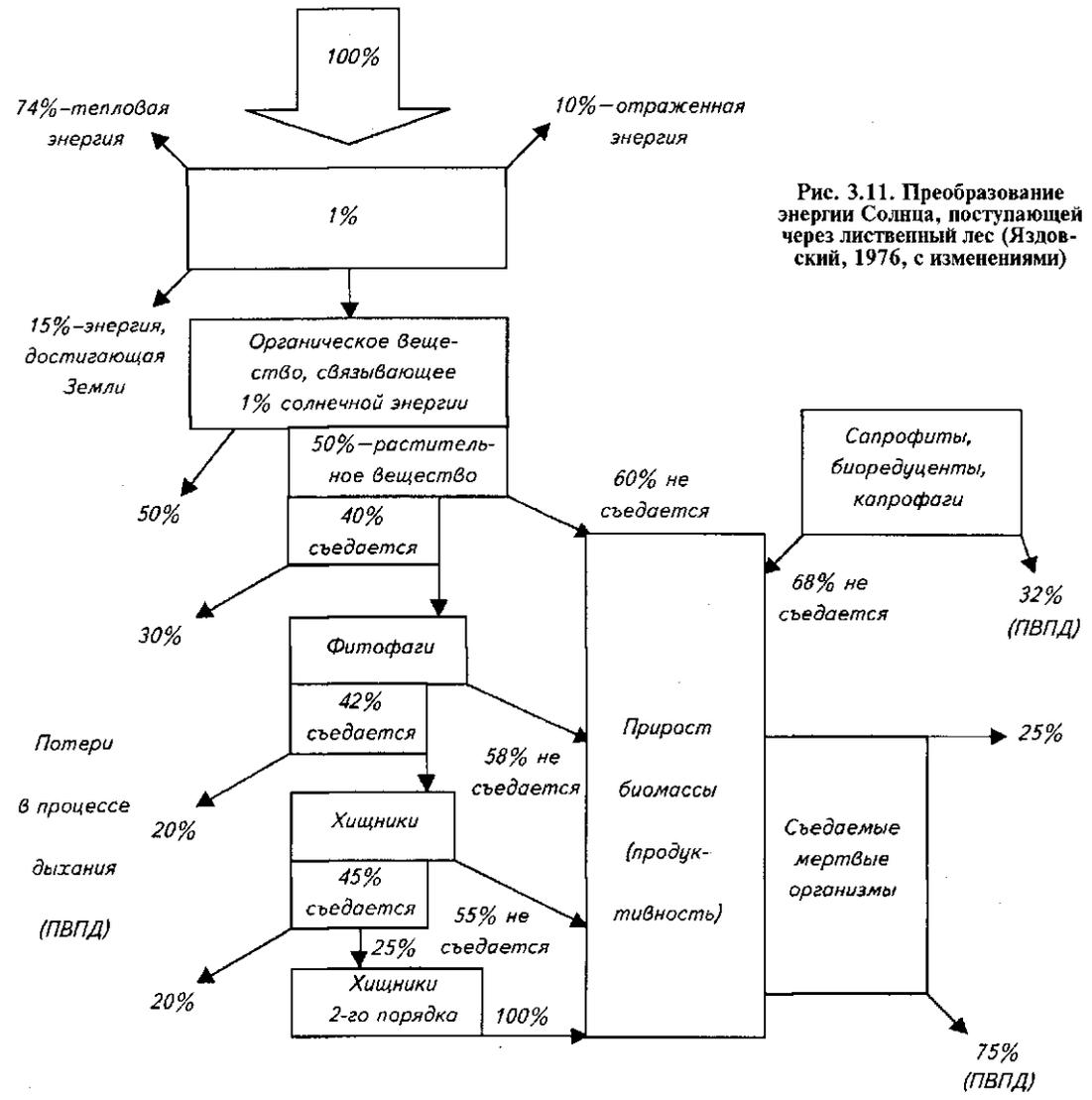
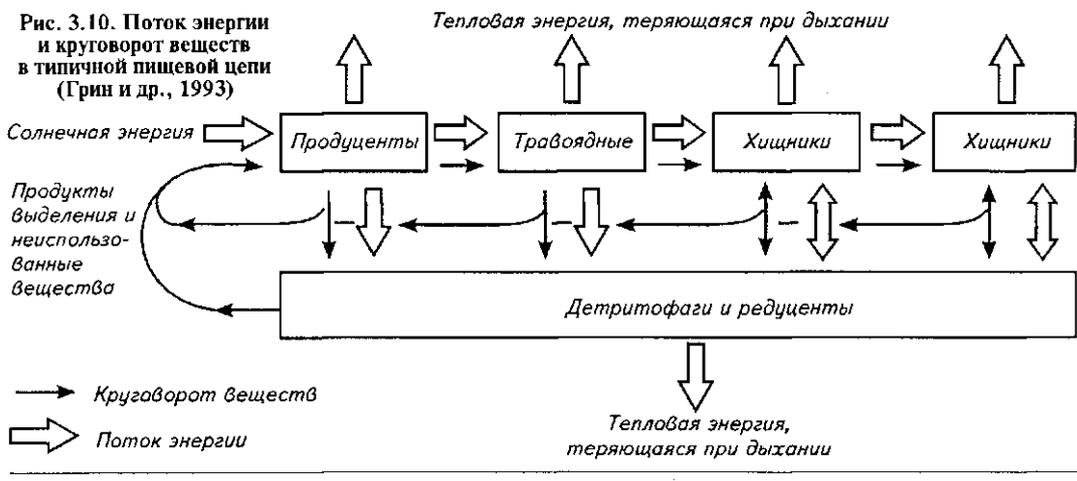


Рис. 3.9. Степное сообщество:

I — отсутствие пастбища; II — пастбище при нормальной нагрузке; III — перевыпас; / — степной орел; 2 — пустельга; 3 — жаворонок; 4, 20 — сайгаки; 5 — волк; 6 — дрофа; 7 — ковыль; 8 — насекомые; 9, 16 — полынь; 10, /5, 18 — трава; // — ящерица; 12 — мышь обыкновенная; УЗ — тюльпан; /•/ — суслик; 17 — степной хорек; 19 — лисица (Забелин и др., 1987)



ем их между видами и популяциями. Чем богаче видовой состав, тем разнообразнее направление и скорость потоков энергии в экосистеме. Трофические цепи питания основываются на втором законе термодинамики, согласно которому некоторая часть энергии всегда рассеивается и становится недоступной для использования в виде тепловой энергии, а также на закономерностях поедания организмов. Размерные закономерности поедания организмов заключаются в том, что по мере продвижения по трофической цепи хищников животные увеличиваются в размерах, но число их уменьшается. И, наоборот, в трофических цепях паразитов организмы уменьшаются в размерах, а численность их увеличивается.

В экосистемах разных типов мощность потоков энергии через цепи выедания и разложения различна. В водных сообществах часть энергии, фиксированной одноклеточными водорослями, поступает к питающимся фитопланктонным животным, далее к хищникам, и значительно меньшая часть включается в цепи разложения. В большинстве экосистем суши наблюдается обратное со-

отношение. Так, в лесах более 90 % ежегодного прироста растительной массы поступает через опад в детритные цепи.

Трофическую структуру экосистемы графически представляют в виде экологической пирамиды (известной еще как пирамида Ч. Элтона, рис. 3.12). По правилу пирамиды общая биомасса у каждого последующего звена в цепи питания уменьшается. Различают три основных типа пирамид: чисел, биомасс и энергии. Такого рода геометрические построения отражают две функциональные характеристики любого биоценоза. Высота их пропорциональна длине пищевой цепи, т. е. числу содержащихся в ней трофических уровней. Форма их отражает эффективность превращений энергии при переходе с одного уровня на другой: чем эффективнее термодинамические реакции, тем большее количество биохимической материи окажется на последующем уровне (рис. 3.13).

Пирамиды чисел представляют собой первое приближение к изучению трофической структуры экосистемы. Установлено основное правило, согласно которому в любой среде растений

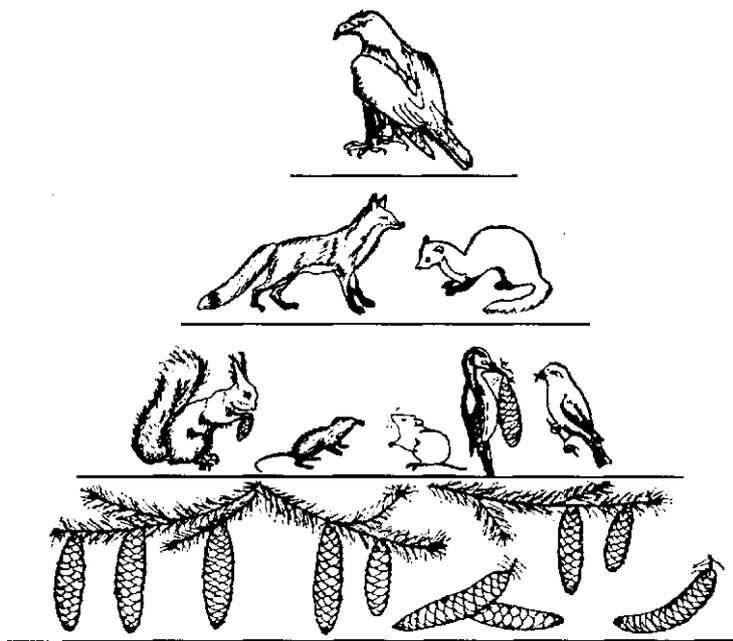


Рис. 3.12. Упрощенная схема пирамиды Элтона (Новиков, 1979)

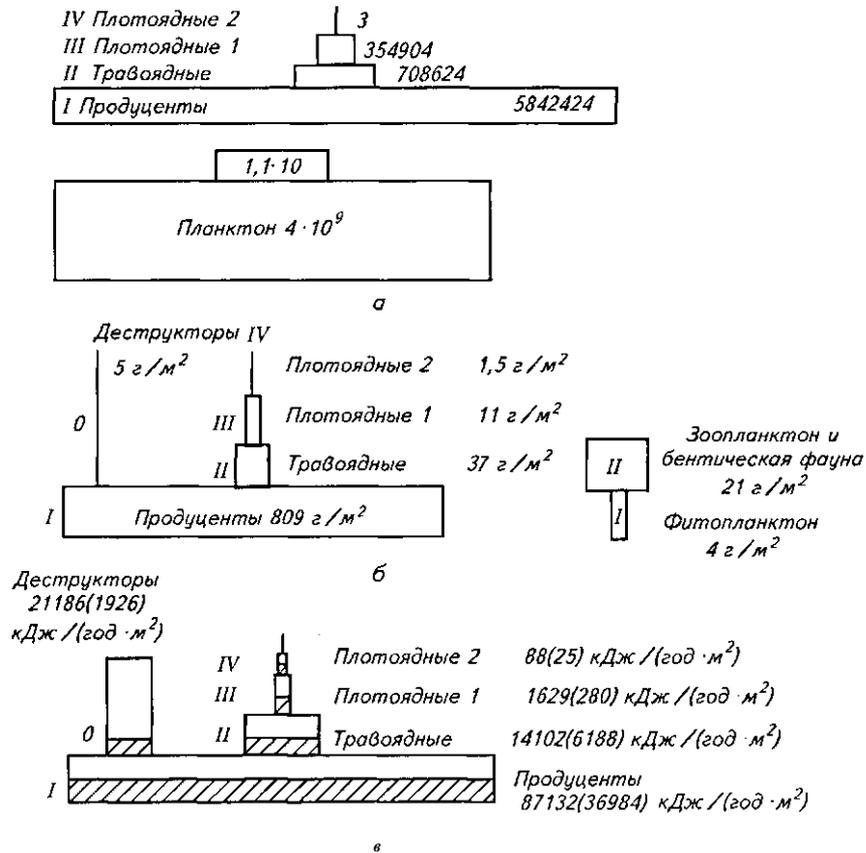


Рис. 3.13. Экологические пирамиды:

а — пирамида чисел; б — пирамида биомасс; в — пирамида энергии. Заштрихованные прямоугольники и цифры в скобках обозначают чистую продукцию (Одум, 1959)

больше, чем животных; травоядных больше, чем плотоядных; насекомых больше, чем птиц и т. д. Таким образом, можно констатировать, что при переходе с одного трофического уровня на другой численность особей уменьшается, а размер их увеличивается. Следует также отметить, что в строении различных пирамид чисел наблюдается заметное разнообразие. Иногда они могут быть «перевернутыми». Так, в лесу насчитывается значительно меньше деревьев (первичные продуценты), чем насекомых (растительноядные). Такая же особенность наблюдается в пищевых цепях паразитов и сапрофитов (растения, грибы, дробянка, питающиеся органическими веществами других организмов).

Пирамида биомасс более полно отображает пищевые взаимоотношения в экосистеме, так как она показывает биомассу (сухую массу) в данный момент на каждом уровне пищевой цепи. Ее форма часто сходна с формой пирамиды чисел, но есть и исключения. В частности, это относится к пресноводной среде, где первичная продуктивность обеспечивается микроскопическими организмами с высокой скоростью обмена веществ (биомасса мала, производительность велика). Недостаток пирамиды биомасс заключается в том, что в ней не разделяются компоненты, имеющие различный химический состав и разную энергетическую значимость.

Пирамиды энергии показывают эф-

эффективность преобразования энергии, продуктивность пищевых цепей. Они строятся путем подсчета количества энергии, аккумулированной единицей поверхности за единицу времени и используемой организмами на каждом трофическом уровне. Согласно рисунку 3.13 деструкторы, значимость которых кажется весьма низкой в пирамиде биомасс, получают весомую часть энергии, проходящей через экосистему.

Расчет теоретической экосистемы, сведенной к одной элементарной пищевой цепи, функционирующей в течение года, предпринял известный американский эколог Ю. Одум (автор фундаментальной книги «Основы экологии», являющейся классикой экологической литературы; перевод на русский язык был издан в 1975 г.). Исходная продукция цепи — посев люцерны на площади 4 га. Люцерной можно прокормить 4...5 телят (предполагается, что они едят только люцерну, а телятиной питается 12-летний мальчик — он употребляет исключительно телятину). Расчеты, проведенные на основе этих показате-

лей, свидетельствуют о том, что эффективность всех трех уровней (числа, биомасса, энергия) невысокая — люцерна использует 0,24 % всей солнечной энергии, поступившей на поле, телята — 8 % и только 0,7 % энергии, накопленной телятами, расходуется на рост и развитие мальчика. Очевидно, для мальчика достаточно всего лишь немногим больше одной миллионной части всей солнечной энергии, которая поступает на 1 га занятого люцерной поля в год (рис. 3.14). Таким образом, коэффициент полезного действия при переходе от основного звена пирамиды к ее вершине значительно уменьшается. И это всеобщее природное явление. Зеленые растения и автотрофные микроорганизмы используют 0,1... 1,2 % энергии солнечной радиации, фитофаги — 9... 10 % этого количества, консументы второго порядка — 2... 12 % энергии, накапливаемой фитофагами. Нельзя не принимать во внимание, что существенная часть энергии расходуется на удовлетворение энергетических потребностей организма. Следует также отметить, что био-

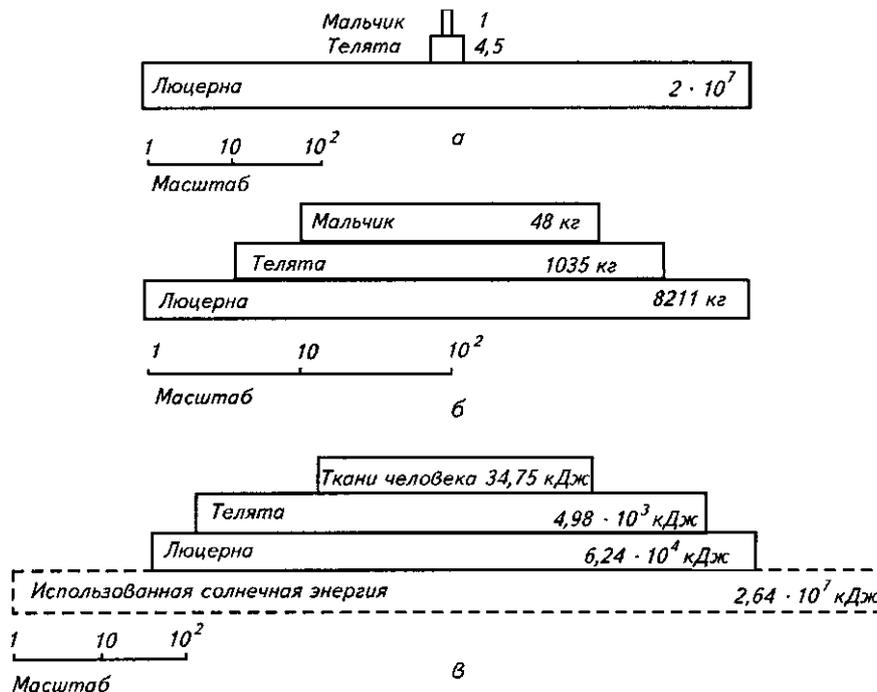


Рис. 3.14. Пирамиды чисел (а), биомасс (б) и энергии (в), представляющие упрощенную экосистему: люцерна — телята — мальчик 12 лет (Одум, 1959)

масса, выпавшая из цепи питания, не теряется для экосистемы. Она служит основой других цепей питания.

Классификация экосистем. При усилении антропогенного воздействия на природные системы выявились неоднозначность реакций экосистем и их различная устойчивость к внешним влияниям одинакового характера и разной силы. Поиск причин этого позволил установить различия принципов организации экосистем, типов функциональных связей внутри систем и своеобразии структурно-образующей роли их биотической составляющей. Устойчивость системы обеспечивается возможностью «настройки» ее к тем или иным переменным показателям среды за счет перегруппировки видов, изменения ритмов их активности, внутрисистемных пространственных перемещений компонентов.

Структурно-функциональный анализ экосистемы — ведущий принцип комплексных оценок. Его целесообразно проводить в следующих ключевых направлениях: энергетика сообщества (потоки энергии, пищевые сети, продукция сообщества, отношение валовой продукции к биомассе, дыханию, отношение биомассы к потоку энергии); структура сообщества (видовое разнообразие, ярусность и пространственная неоднородность, элементы минерального питания, количество органического вещества, биохимическое разнообразие); круговорот биогенных элементов (круговорот минеральных веществ, скорость обмена элементами питания между организмами и средой, роль детрита в регенерации элементов питания); характеристика гомеостаза в целом (устойчивость к внешним воздействиям, внутренний симбиоз, сохранение элементов питания, энтропия, информация).

В экологии пока что не пришли к какой-то единой классификации типов экосистем. Выделяют следующие основные их классификации: биомную, координационную (или ординационную), морфологическую, иерархическую, факториальную, функциональную.

В основе биомной классификации лежат заметные постоянные макроструктурные черты. Наземные биомы

(или крупные системно-географические подразделения) выделены здесь по естественным чертам растительности (например, тундры, бореальные хвойные леса, степи умеренной зоны и т. д.), а типы водных экосистем — по геологическим и физическим особенностям (например, типы пресноводных экосистем — лентические, представленные стоячими водами, — озера, пруды; лотические, представленные текучими водами, — реки, ручьи и др.; заболоченные угодья — болота и болотистые леса).

Координационная классификация экосистем представляет собой последовательное расположение их (ординацию) в виде какого-либо ряда или расположение в системе координат в зависимости от важнейших экологических факторов (например, эдафифитоценотические ряды В. Н. Сукачева показывают расположение типов лесных биоценозов в зависимости от основных экологических факторов).

Морфологическая классификация основана на внешних (морфологических или физиологических) признаках. Прежде всего учитываются признаки биоты, затем условия окружающей среды. В биоте в первую очередь характеризуется растительность (видовое разнообразие, доминанты, эдификаторы).

Иерархическая классификация, или субординация, экосистем основывается на расположении таксонов в порядке их соподчинения (аналогично биологической систематизации). Выделяют следующие уровни экосистемных таксонов:

тип (по характеру поступления в экосистему необходимых биотических веществ, например транзитные, автономные);

класс (по температурному и влажностному режимам — термогидрофильный, криогидрофильный и т. д.);

семейство (по адаптивным особенностям биоты по морфологии, физиологии — луговые, тропические леса и т. д.);

род (по пространственному распределению биоценоза — мозаичность, ярусность, синузии);

вид (в зависимости от встречаемости второстепенных компонентов биоты).

Факториальная классификация разработана географами, климатологами,

ландшафтоведами, почвоведом и основана на свойствах абиотических компонентов экосистем, т. е. характеризует в основном экотоп. Недостаток ее состоит в том, что ядро экосистемы (биоценоз) характеризуется поверхностно.

Функциональная классификация основана на «физиологии экосистемы» — круговороте веществ и потоке энергии с определением таких структурно-функциональных показателей, как общая биомасса, приток и отток веществ, степень использования первичной продукции гетеротрофами, соотношение массы годового опада и многолетней подстилки, а также других параметров, характеризующих функционирование экосистемы.

Существующие на Земле экосистемы разнообразны и по размерам. Выделяют микроэкосистемы (например, ствол гниющего дерева, подстилка лишайников на стволе дерева), мезоэкосистемы (лес, луг, степь, небольшой временный водоем и т. д.), макроэкосистемы (континент, океан, крупные болота) и глобальную (биосфера).

3.5. БИОГЕОЦЕНОЗ

Понятие «биогеоценоз». Параллельно с развитием концепции экосистем успешно развивается концепция биогеоценоза, автором которой является В. Н. Сукачев (1942). Экосистема и биогеоценоз — близкие по сути понятия, но не синонимы. Если экосистема обеспечивает круговорот веществ любого ранга, распространяясь и на водные объекты, то биогеоценоз — понятие территориальное и относится к таким участкам суши, которые заняты фитоценозами.

По В. Н. Сукачеву, *биогеоценоз* (от гр. *bios* — жизнь, *ge* — Земля, *koinos* — общий) — это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира, микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая особую специфику взаимодействий этих компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между собой и с другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее про-

тиворечивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии.

Под определение биогеоценоза экосистемы не подпадают, так как им не свойственны некоторые признаки этого определения (например, территориальная ограниченность). Экосистема может, напротив, включать несколько биогеоценозов, т. е. понятие «экосистема» шире, чем понятие «биогеоценоз». Иначе говоря, любой биогеоценоз является экологической системой, но не всякая экосистема может считаться биогеоценозом. Биогеоценозы — сугубо наземные образования, имеющие четкие границы.

Наука о биогеоценозах — биогеоценология — рассматривает поверхность Земли как сеть соседствующих биогеоценозов, изучает функционирование их в конкретных условиях ландшафта в зависимости от горной породы, рельефа, свойств почвы, растений, животных, микроорганизмов, а также связь их между собой через миграцию веществ. Обе концепции — экосистем и биогеоценозов — дополняют и обогащают одна другую, позволяя рассматривать функциональные связи сообществ и окружающей их неорганической среды в разных аспектах и с разных точек зрения. Структура биогеоценоза и схема взаимодействия между его компонентами показаны на рисунке 3.15.

Структура биогеоценозов. Структурной основой, своего рода «каркасом» пространственного размещения структурных элементов биогеоценоза и его слагаемых является растительный компонент — фитоценоз. Это обусловлено не только тем, что растительное сообщество — единственный компонент в составе биогеоценоза, способный аккумулировать солнечную энергию путем синтеза органических веществ из неорганических. Ввиду относительно равномерного распределения в пространстве материальных ресурсов для фотосинтеза растения ведут «прикрепленный» образ жизни. Это определяет хорошо выраженное структурное оформление растительных сообществ, вертикальное и горизонтальное расчленение их на так называемые ярусы и микрогруппировки.

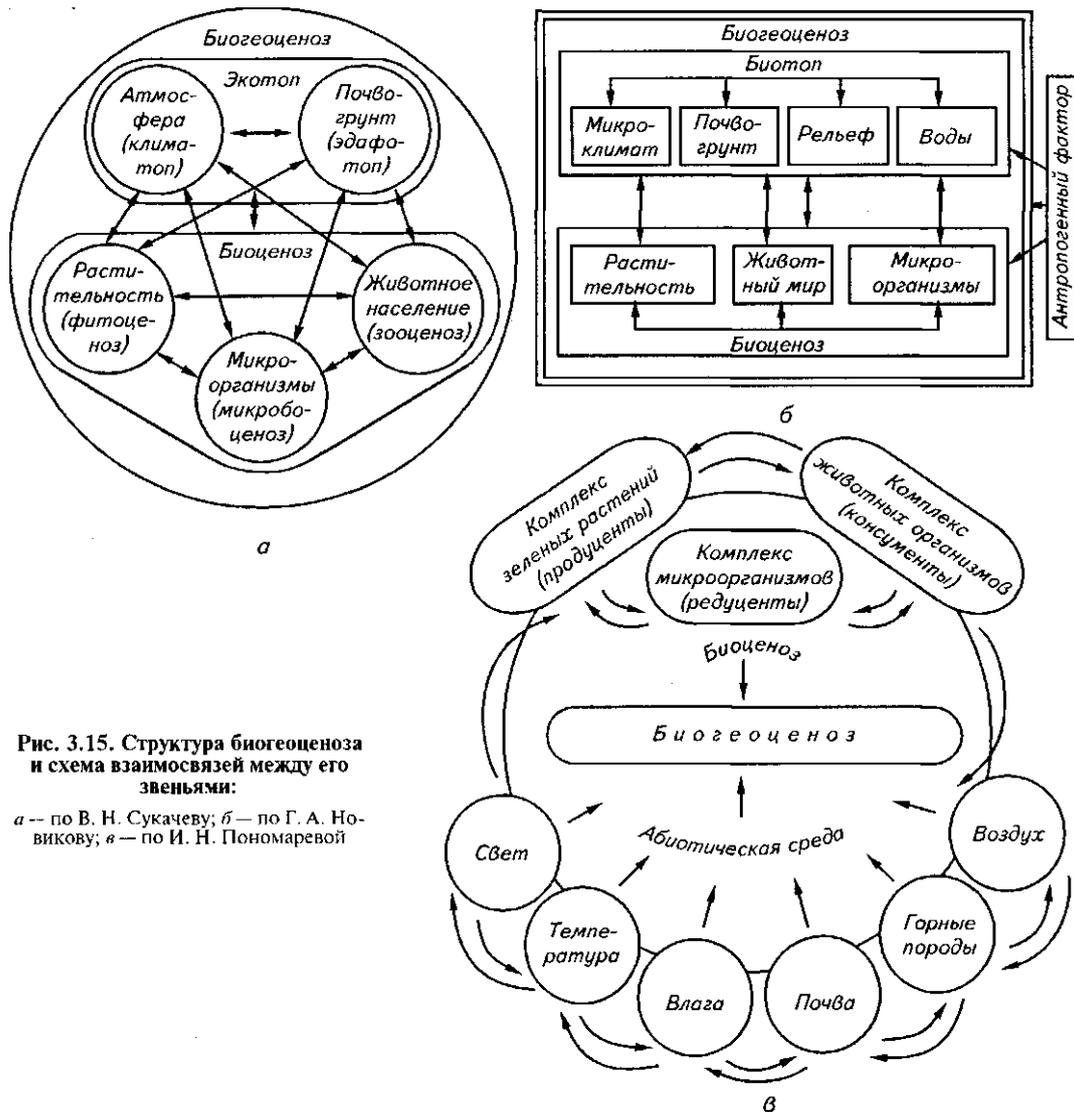


Рис. 3.15. Структура биогеоценоза и схема взаимосвязей между его звеньями:

а — по В. Н. Сукачеву; *б* — по Г. А. Навикову; *в* — по И. Н. Пономаревой

Ю. П. Бялловичем при анализе строения биогеоценозов были выделены вертикальные структурные элементы, названные биогеоценозическими горизонтами, которые рассматриваются как «вертикально обособленные и по вертикали далее нерасчленимые структурные части биогеоценоза». Каждый биогеогоризонт однороден по составу, по взаимосвязи компонентов, по происходящим в нем превращениям веществ и энергии. Многие биогеогоризонты пространственно совпадают с ярусами фитоценозов, с почвенными генетическими горизонтами и пр. Но обычно биогео-

оценозические горизонты — более дробные подразделения биогеоценозов по вертикали.

Так, лесной биогеоценоз можно расчленить на следующие вертикальные структуры: биогеогоризонт фотосинтеза с активным балансом; биогеогоризонт фотосинтеза с пассивным балансом; биогеогоризонт кроностволовой аккумуляции; биогеогоризонт стволовой аккумуляции; слой фотосинтеза подлеска; слой фотосинтеза травяного покрова; слой фотосинтеза мохового покрова.

Биогеоценозическая деятельность компонентов биогеоценоза, обеспечи-

вающая гомеостаз, проявляется в биогеохимических процессах превращения веществ и энергии внутри биогеоценозов и в обмене веществом и энергией между биогеоценозами, включая также деятельность информационного характера (опыление, распространение семян и плодов и т. п.). Биогеоценозическая деятельность каждого компонента биогеоценоза протекает в следующих направлениях:

получение от других компонентов тех или иных материально-энергетических ресурсов;

выполнение в процессе обмена веществ и энергии определенной, соответствующей его положению в биогеоценозической системе работы;

внесение в биогеоценоз в ходе своей жизнедеятельности продуктов метаболизма (обмена веществ) и заключенной в них энергии;

выполнение некоторых информационных и других свойственных его природе функций.

Таким образом, биогеоценоз — это основная структурно-функциональная материально-энергетическая единица (ячейка) биосферы, в которой совершаются обменные процессы, характерные для биогеохимической деятельности биосферы в целом. При этом биогеоценоз представляет собой саморазвивающуюся систему, обладающую способностью саморегулирования и самоорганизации.

3.6. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И АГРОЭКОСИСТЕМ

Равновесие, устойчивость и эволюция естественных экосистем и биогеоценозов. В процессе круговорота веществ в естественных экосистемах (равно как и в биогеоценозах) увеличивается разнообразие веществ, повышается устойчивость биологических систем, поддерживаются их равновесие, сбалансированность и происходит саморегулирование. Причем саморегулирование экосистем осуществляется на основе так называемых «обратных связей». В экосистеме имеют место прямые связи с ее внешним окружением и обратные связи

двоякого рода — положительные (создание материально-биологических ресурсов в результате синтетических процессов) и отрицательные (расходование ресурсов на синтез и процессы жизнедеятельности).

Эти отрицательные обратные связи регулируют состав, численность и продуктивность живых компонентов экосистемы или биогеоценоза, поддерживая тем самым видовые популяции на определенном уровне численности, создавая предел безграничному увеличению этого уровня. Иначе говоря, благодаря этому сохраняется экологическая емкость данной среды, т. е. общее конкретное количество видов определенной экологии, способных нормально существовать в условиях данной экосистемы. В результате экосистема поддерживается в состоянии динамического равновесия, обеспечиваются ее гомеостаз и устойчивость.

Как считает Н. П. Наумов, помимо механизмов обратных связей, особенно на уровне биогеоценозов, действует специфическая система регуляции, к которой относится межвидовая сигнализация (оптическая, звуковая, электрическая, химическая), выражающаяся в возникновении вокруг биогеоценоза соответствующих «биологических полей».

Таким образом в экосистемах формируется статический тип саморегуляции, который характеризуется тем, что элементы системы вступают между собой в случайные взаимоотношения путем обмена информацией или совместных действий. Роль же хранителя информации и каналов связи между элементами системы выполняет окружающая среда.

Структура и функционирование экосистем даже в условиях стабильной природной среды не бывают неизменными, а проходят ряд последовательных стадий. Как внутренние ценозические, так и внешние факторы вызывают различные изменения, в частности флуктуации, циклически обратимые сукцессии и более направленные сукцессии изменения.

Сукцессия рассматривается как реакция биоты на изменение природной среды, а также на форму и интенсивность воздействий на нее антропогенных факторов.

Выделяют четыре основные категории динамического состояния экосистем: относительное равновесие (флуктуации), когда изменения происходят вокруг средних величин; циклические сукцессии, вызываемые соответствующими климатическими циклами; сукцессии, вызываемые ненаправленными изменениями экосистем; антропогенное преобразование природных экосистем.

Свойства сообществ в экосистемах находятся под влиянием эволюции и коэволюции (взаимосвязанной эволюции) видовых популяций, которые участвуют в долговременном формировании сообществ. Основными движущими силами эволюции являются: постоянные изменения среды обитания живых систем; обусловленная этими изменениями (внешними абиотическими и биотическими внутренними помехами) наследственная изменчивость, а также естественный отбор (в процессе борьбы за существование наиболее приспособленных особей); наличие в системах всех уровней организации живого значительных запасов свободной энергии, которая может быть использована на обеспечение любых структурно-функциональных перестроек.

Так, у организмов, эволюционирующих независимо друг от друга в одинаковых условиях среды, иногда в ответ на идентичное давление естественного отбора возникают почти одинаковые адаптации. Например, засушливые районы Южной Африки заселены разнообразными молочаями, отдельные виды которых фенотически очень близки к американским кактусам.

Подобное сближение фенотипических реакций у растений и животных разного происхождения известно под названием эволюционной конвергенции. Организмы, прошедшие независимую конвергентную эволюцию, но занимающие приблизительно одинаковые экологические ниши в разнообразных сообществах из разных частей света, известны под названием экологических эквивалентов.

Вместе с тем сообщество само является главным фактором селективной среды популяций, входящих в его со-

став, и его свойствами определяются многие из популяционных адаптаций. Эволюция, например, жертвы приводит к уменьшению эффективности переноса энергии с одного трофического уровня на другой и к повышению устойчивости сообщества. Эволюция же хищника ведет к возрастанию эффективности этого переноса и снижению устойчивости сообщества.

Таким образом, эволюцию экосистем движет противоречие, порожденное существованием двух противоположных процессов (между постоянно изменяющимися условиями среды и наследственностью живых существ) — абиотического энтропийного и биотического негэнтропийного. Первый из них отличается полным рассеянием свободной энергии, а второй — ее накоплением в виде органических соединений. Наличие в живых системах огромного количества свободной энергии дает основание сделать вывод, что эти системы являются не только самоорганизующимися и саморегулируемыми, но и самовозмущающимися. Без постоянных возмущающих воздействий невозможна наследственная изменчивость, а без запасов свободной энергии невыполнимо выполнение работы по перестройке и усовершенствованию структур и их естественному отбору. Основой для оптимизации экосистем является познание структурно-функциональной организации механизмов их саморегуляции.

Различия естественных экосистем и агроэкосистем. При замене природных экосистем агроэкосистемами у последних формируются новые специфические черты. По Э. Дж. Райкилу, агроэкосистемы — это «сверхсистемы», включающие экологические, экономические и социальные компоненты.

Управление агроэкосистемой в отличие от саморегулирующихся природных экосистем ведется извне, подчинено внешним целям.

В качестве примера (рис. 3.16) приведен зрелый лес, который поддерживает несколько звеньев консументов в цепи выедания. От 10 до 20 % энергии от каждого трофического уровня передается следующему уровню. Сложность структуры обеспечивает регулирование

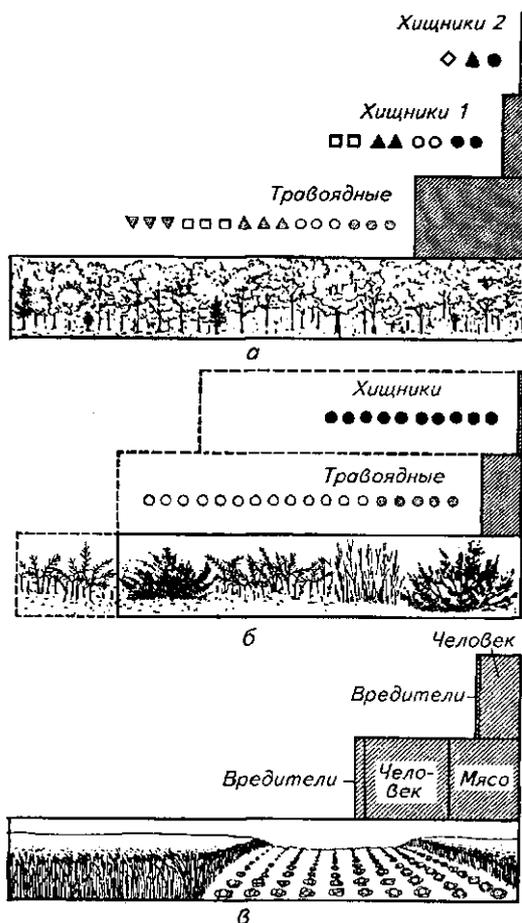


Рис. 3.16. Структурно-функциональные особенности природных экосистем и агроэкосистем:

а — зрелый лес; б — степь; в — агроэкосистема. Геометрическими фигурами обозначены отдельные виды травоядных и хищных (Вудвелл, 1972)

размеров популяций. В итоге из года в год сохраняется одна и та же схема распределения энергии в системе. В степи годовая продукция редких злаков, разнотравья и кустарников варьирует, как и популяции травоядных и хищников, которые представлены немногими видами, характеризующимися тем не менее значительной численностью. При экстремальных условиях большая часть продукции может потребляться; это приводит к голоданию травоядных и усиливает характерные флуктуации в популяциях. Агроэкосистема — особый случай экосистемы, в которой количество чистой продукции превышает

обычный уровень. Продукцию эту потребляют травоядные, в том числе человек и животные, которых человек использует на мясо. Стабильность поддерживается за счет дополнительной энергии.

3.7. ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ

Выделяют следующие основные концептуальные положения экологии (Соловьев, 1982):

морфолого-структурная концепция (видовое разнообразие, вертикальная ярусность и горизонтальная неоднородность биоценозов, соотношение жизненных форм, ценотический состав);

функционально-ценотическая концепция (средообразующая деятельность популяций, их взаимодействие в биоценозе, взаимодействие компонентов в экосистеме);

продуктивно-энергетическая концепция (пищевые цепи, экологические пирамиды, пищевые сети, образуемые пищевыми цепями, пересекающимися в разных своих звеньях, поток энергии и энтропии по пищевым сетям, накопление и преобразование свободной энергии, формирование первичной и вторичной продукции);

информационно-кибернетическая концепция (потоки информации и гомеостаз популяции, биоценоза и экосистемы, управляющие воздействия на них);

биогеохимическая концепция (круговорот веществ в экосистеме, миграция химических элементов по пищевым сетям и компонентам экосистемы, а также обмен между экосистемами);

социально-экономическая концепция (эксплуатация экосистем, благоприятные и неблагоприятные последствия для общества);

сукцессионно-динамическая концепция (сукцессия биоценоза и экосистемы эндогенная и экзогенная, экологическая ординация и физиономическая классификация биоценозов);

эволюционная концепция (возникновение и историческое развитие экосистем, палеоэкология);

хорологическая концепция (пространственная структура видов, распре-

деление экосистем различного ранга в зависимости от климатических, зонально-поясных, ландшафтных и региональных особенностей географической среды).

На этой основе обеспечивается всестороннее рассмотрение экосистем в морфологическом и «анатомическом», физиологическом, временном и пространственном аспектах.

Глава 4 БИОСФЕРА

4.1. УЧЕНИЕ В. И. ВЕРНАДСКОГО О БИОСФЕРЕ

История понятия «биосфера». Впервые к понятию «биосфера» (без употребления самого термина) еще в начале XIX в. подошел Ж. Б. Ламарк, в чьих работах можно найти немало глубоких геохимических идей, пусть и архаично изложенных. Позднее (1863 г.) французский исследователь Э. Реклю применил термин «биосфера» для обозначения области распространения жизни на земной поверхности. В 1875 г. крупный австрийский геолог Э. Зюсс назвал биосферой особую оболочку Земли, включающую совокупность всех организмов, противопоставив ее другим земным оболочкам (атмосфере, гидросфере, литосфере). Начиная с работ Зюсса, биосфера трактуется как совокупность населяющих Землю организмов.

Однако связанное с термином «биосфера» законченное учение было создано не Ламарком, Реклю и Зюссом, а нашим выдающимся соотечественником Владимиром Ивановичем Вернадским. Основные его идеи в данной области сложились в начале XX в. Он излагал их в лекциях в Париже. В 1926 г. идеи В. И. Вернадского о биосфере были сформулированы в книге «Биосфера», состоящей из двух очерков — «Биосфера и космос» и «Область жизни». Позднее различные стороны биосферного учения В. И. Вернадский рассматривал в статьях и в большой монографии «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения» (она была опубликована только через 20 лет после смерти ученого).

«Поле существования жизни». Прежде всего В. И. Вернадский определил пространство, охватываемое биосферой Земли: это вся гидросфера до максимальных глубин океанов, верхняя часть литосферы материков до глубины 2...3 км (на таких глубинах в подземных водах еще встречаются живые микроорганизмы) и нижняя часть атмосферы, по крайней мере до верхней границы тропосферы. Он ввел в науку интегральное понятие «живое вещество» и стал называть биосферой область существования на Земле «живого вещества», представляющего собой сложную совокупность микроорганизмов, водорослей, грибов, растений и животных. По существу, речь идет о единой термодинамической оболочке (пространстве), в которой сосредоточена жизнь и осуществляется постоянное взаимодействие всего живого с неорганическими условиями среды.

Согласно современным представлениям «поле существования жизни» (особенно активной) ограничено по вертикали высотой около 6 км над уровнем моря, до которой сохраняются положительные температуры в атмосфере и могут жить хлорофиллоносные растения-продуценты (6,2 км в Гималаях). Выше, в озоновой зоне, обитают лишь пауки, ногохвостки и некоторые клещи, питающиеся растительной пылью, спорами растений, микроорганизмами. Еще выше живые организмы попадают только случайно. Микроорганизмы здесь могут сохранять жизнь в виде спор.

Нижний предел существования активной жизни традиционно ограничивают дном океана (около 11 км) и изо-

термой 100 °С в литосфере (по данным сверхглубокого бурения на Кольском полуострове, около 6 км, фактически жизнь встречается в литосфере до глубины 3...4 км). Таким образом, вертикальная мощность биосферы в океанической области Земли достигает немного более 17 км, в сухопутной — порядка 12 км.

Если исходить из предположения, что пределы возможности жизни ограничиваются точками температуры, при которой вода превращается в пар, а белки сворачиваются, то теоретически границы распространения биосферы намного шире по сравнению с общепринятыми в литературе.

Так, в перегретой воде, обнаружен-

ной в литосфере на глубине 10,5 км, а в «черных курильницах» (получили название из-за темного цвета извергающихся вод) на дне океана глубиной 3 км организмы существуют при температуре 250 °С. Теоретически пределом проникновения жизни в литосферу может быть глубина 25 км с критической температурой 460 °С, при которой под любым давлением вода превращается в пар, и жизнь, по существу, невозможна (Реймерс, 1994). Общее представление о протяженности биосферы и соотношении ее поверхностей дает рисунок 4.1.

Естественно, границы биосферы не были и не могут оставаться постоянными во времени, поскольку жизнь (главный «мотор биосферы») постоянно из-

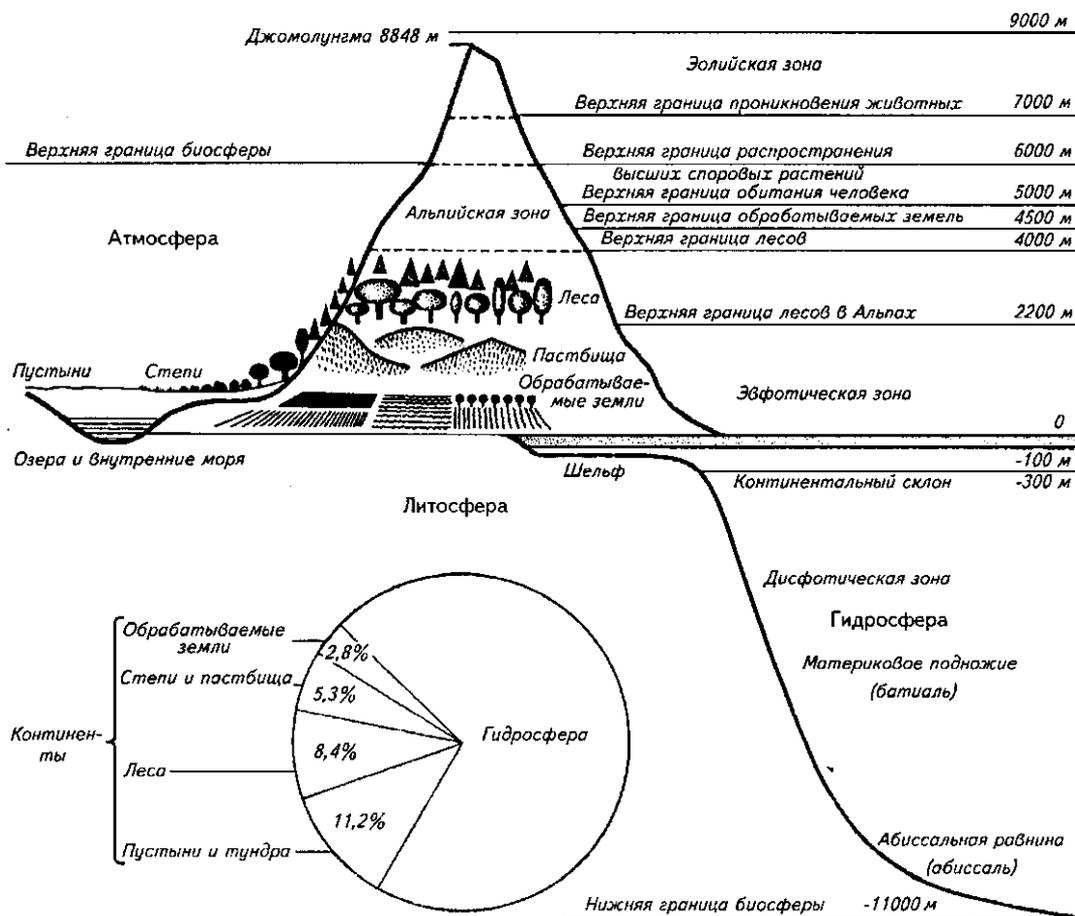


Рис. 4.1. Вертикальная зональность биосферы и соотношение поверхностей, занятых основными структурными единицами (Рамад, 1981)

меняется. Причем изменяются не только количественные, но и качественные характеристики живого вещества.

Живое вещество. Главная идея В. И. Вернадского заключается в том, что высшая фаза развития материи на Земле — жизнь — определяет и подчиняет себе другие планетарные процессы. По этому поводу он писал, что можно без преувеличения утверждать, что химическое состояние наружной коры нашей планеты, биосферы, в целом находится под влиянием жизни, определяется живыми организмами.

По подсчетам ученых, живое вещество биосферы образует 1800 тыс. видов, общий объем которых составляет 2488 км^3 , или 2423 млрд т. Эта масса живого вещества сосредоточена в 1400 тыс. км^3 , т. е. в объеме биосферы. Биомасса растений (фитомасса) в 2,5 тыс. раз превышает общую массу животных (зоомассу), причем видовая дифференциация животных в 6 раз больше видовой дифференциации растений.

Если равномерно распределить все живые организмы на поверхности Земли, то они образуют пленку толщиной 5 мм. Несмотря на это, роль живого вещества в истории Земли не меньше роли геологических процессов.

Вся масса живого вещества, которое было на Земле хотя бы в течение 1 млрд лет, уже превышает массу земной коры. Действительно, биомасса Земли (в сухом веществе), по новейшим данным, составляет $2,44 \cdot 10^{12} \text{ т}$, т. е. $0,00001 \%$ земной коры ($2 \cdot 10^{19} \text{ т}$), ежегодная продукция живого вещества близка к $2,32 \cdot 10^{11} \text{ т}$. Полагая, что последний миллиард лет продукция была близка к современной, можно рассчитать ее суммарное количество: $2 \cdot 10^{11} \cdot 10^9 = 2 \cdot 10^{20} \text{ т}$, т. е. в 10 раз больше массы земной коры (Сытник и др., 1987).

Количественной характеристикой живого вещества является суммарное количество биомассы. В. И. Вернадский, проведя анализ и расчеты, пришел к выводу, что количество биомассы составляет от 10^{20} до 10^{21} г , или 1000... 10 000 трлн т. Ему же принадлежат и следующие интересные расчеты. Оказалось, что хотя вся поверхность Земли составляет несколько меньше $0,0001 \%$ поверхности Солнца, зеленая площадь

ее трансформационного аппарата, т. е. поверхность листьев деревьев, стеблей трав и зеленых водорослей, дает числа совершенно иного порядка — в различные периоды года она колеблется от $0,86$ до $4,20 \%$ поверхности Солнца, чем и объясняется большая суммарная энергия биосферы. В последние годы аналогичные подсчеты с применением новейшей аппаратуры провел красноярский биофизик И. И. Гительзон и подтвердил порядок цифр, более полувека назад определенный В. И. Вернадским.

И. И. Гительзон тщательно исследовал энергетический баланс различных планет Солнечной системы и особенно количество тепловой и электромагнитной энергии, получаемой Землей от Солнца. По его оценкам, она оказалась равной $170 \cdot 10^{12} \text{ кВт}$. Он рассмотрел биосферу как область превращения этой космической энергии, выяснил закономерности распространения живого вещества в биосфере, изучил количественные закономерности размножения различных таксономических групп организмов и геохимическую энергию живого вещества. Значительное место в работах В. И. Вернадского по биосфере отведено зеленому живому веществу растений, поскольку только оно автотрофно и способно аккумулировать лучистую энергию Солнца, образуя с ее помощью первичные органические соединения. Причем зеленое вещество улавливает в целом лишь $0,02...0,03 \%$ солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли.

Следует также упомянуть выводы естествоиспытателя о том, что значительная часть энергии живого вещества идет на образование в биосфере новых валозных (неизвестных вне ее) минералов, а часть захороняется в виде органического вещества, образуя в конечном счете залежи бурого и каменного угля, горючих сланцев, нефти и газа. «Мы имеем здесь дело, — писал В. И. Вернадский, — с новым Процессом — с медленным проникновением внутрь планеты лучистой энергии Солнца, достигшей поверхности Земли. Этим путем живое вещество меняет биосферу и земную кору. Оно непрерывно оставляет в ней часть прошедших через него хими-

ческих элементов, создавая огромные толщи неведомых, помимо него, вадозных минералов или пронизывая тончайшей пылью своих остатков косную материю биосферы»*.

По В. И. Вернадскому, земная кора представляет собой в основном остатки былых биосфер. Даже гранитно-гнейсовый ее слой образовался в результате метаморфизма и переплавления пород, возникших когда-то под воздействием живого вещества. Только базальты и другие основные магматические породы он считал глубинными и по своему генезису не связанными с биосферой.

Большое внимание В. И. Вернадский уделял также изучению форм нахождения различных химических элементов в биосфере, деления живого вещества биосферы по источникам питания организмов, полям устойчивости (пределов) жизни, особенностям жизни в гидросфере и на суше, геохимическим циклам сгущений жизни и живых пленок гидросферы и др.

В учении о биосфере понятие «живое вещество» является основополагающим. Живые организмы превращают космическую лучистую энергию в земную, химическую и создают бесконечное разнообразие нашего мира. Своими дыханием, питанием, метаболизмом, смертью и разложением, длящимися сотни миллионов лет, непрерывной сменой поколений они порождают существующий только в биосфере грандиознейший планетарный процесс — миграцию химических элементов. Движение земных атомов непрерывно происходит более двух миллиардов лет в соответствии с законами биогенной миграции атомов, максимума биогенной энергии, константности количества живого вещества и др.

Живое вещество, согласно теории В. И. Вернадского, — это биогеохимический фактор планетарного масштаба, под воздействием которого преобразуются как окружающая абиотическая среда, так и сами живые организмы. Во всем пространстве биосферы идет порожденное жизнью непрерывное перемещение молекул. Жизнь решающим образом

воздействует на распределение, миграцию и рассеяние химических элементов, определяя судьбу азота, калия, кальция, кислорода, магния, стронция, углерода, фосфора, серы и других элементов.

Многокилометровые толщи известняков, угольные месторождения, железные руды — все это проявление деятельной силы жизни. Эпохи развития жизни — протерозой, палеозой, мезозой, кайнозой — отражают не только формы жизни на Земле, но и ее геологическую летопись, ее планетарную судьбу.

В учении о биосфере органическое вещество наряду с энергией радиоактивного распада рассматривается как носитель свободной энергии. Жизнь же представляется не как механическая сумма индивидуумов или видов, а как сущностно единый процесс, охватывающий все вещество верхнего слоя планеты. Обнаруживая ныне рассеянное органическое вещество в жидкой и твердой оболочках Земли, открывая в осадочных породах остатки белков и аминокислоты, порфирины и жиры организмов, существовавших 100, 300 и даже 3000 млн лет назад, современная геохимия подтверждает, развивает и конкретизирует данные концепции ученого.

Важнейшие черты биосферы. Прежде всего это постоянный материально-энергетический обмен с космосом и существование исключительно в ее пределах живого вещества. Наличие жизни, ее брэнность и возрождение, ее постоянное «давление» на окружающий неорганический мир непрерывно формируют облик нашей планеты, оказывают решающее воздействие на химические процессы в атмосфере, гидросфере и верхних слоях литосферы. Наличие жизни, ее многообразные проявления — главное, что отличает Землю от других планет Солнечной системы.

Существенной чертой биосферных процессов является кругооборот (цикличность). Суточные, лунные, годовые, многолетние и многие другие ритмы представляют собой разнообразные временные формы такой цикличности. Ее вещественной формой является кругооборот веществ, химических элементов, совершающийся в биосфере. Кругооборот включает в себя пищевые цепи биогеоценозов, обмен веществ между

* Цит. по: Яншин А. Л. В будущее с уверенностью. - Наука в СССР. 1988. № 2. С. 8.

живой и неживой природой, глобальные циклы движения воды, диоксида углерода, кислорода, других биогенных элементов. Цикличность биосферных процессов свидетельствует об их повторяемости, воспроизводимости, устойчивости. Познать эти циклы, предугадать возможные их последствия — серьезная экологическая задача.

И ранее было известно, что живые организмы участвуют в круговороте многих химических элементов, в образовании органогенных горных пород и минералов, но на участие живого вещества в круговороте всех химических элементов указал лишь автор учения о биосфере. Проявление жизни глубочайшим образом меняет течение всех химических реакций в земной коре, изменяет историю почти всех химических элементов; каждый из них проходит в общей цепи превращений через биогеохимическое звено.

Масштабы биогеохимической работы живого вещества таковы, что в течение сравнительно короткого момента времени через живые организмы может пройти все вещество биосферы (рис. 4.2). Живое вещество совершенно изменяет химию моря. Могущественной в геохимическом отношении формой живого вещества является подземная жизнь на глубине более 3 км, связанная с водой и горючими полезными

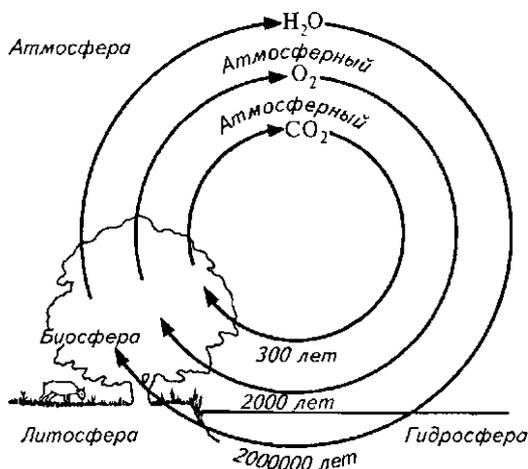


Рис. 4.2. Упрощенная схема круговорота водяного пара, кислорода и диоксида углерода (Клауд, Джибор, 1972)

ископаемыми органического происхождения.

Живое вещество изменялось в течение всех геологических эпох и периодов. Следовательно, как отмечал В. И. Вернадский, современное живое вещество генетически связано с живым веществом всех прошлых геологических эпох, а современная биосфера является развитием былых биосфер. В то же время в рамках значительных геологических отрезков времени количество живого вещества не подвержено заметным изменениям. Эта закономерность была сформулирована В. И. Вернадским как константность количества живого вещества биосферы (для данного геологического периода).

Труды В. И. Вернадского стали основой множества новых наук и научных направлений: геохимии, биогеохимии, космохимии, радиохимии, гидрохимии. Ученый создал нечто большее, чем новые науки, — он способствовал формированию нового взгляда на природу в целом. Сосредоточившись на понятии живого вещества и вечности жизни, Вернадский разработал учение о биосфере. Был достигнут новый синтез представлений о мире, о его единстве и всеобщей связи явлений. Работы Вернадского стали одной из важнейших основ для решения проблем окружающей природной среды. Труды ученого обогащают наши представления о смысле человеческой жизни, о высоте человеческого чувства, о ценности внутреннего мира человека, его свободной мысли.

Биосфера (от гр. bios — жизнь + sphaira — шар) — нижняя часть атмосферы, вся гидросфера, верхняя часть литосферы, являющиеся областью существования и функционирования живого вещества или затронутые жизнедеятельностью живых организмов (в том числе в историческом прошлом); активная оболочка Земли, в которой совокупная деятельность живых организмов проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба. В пределах этой глобальной экосистемы взаимодействуют живое и косное вещества планеты.

Состав биосферы. Важнейшие компоненты биосферы: живое вещество (растения, животные и микроорганиз-

мы); биогенное вещество (органические и органо-минеральные продукты, созданные живыми организмами на протяжении геологической истории, — каменный уголь, нефть, торф и др.); косное вещество (атмосфера, горные породы неорганического происхождения, информация, вода); биокосное вещество (продукт синтеза живого и неживого, т. е. осадочные породы, почвы, илы).

У В. А. Ковды находим более широкое толкование компонентного состава биосферы. По его мнению, это потоки космической энергии, электромагнитные и гравитационные поля, космическое вещество, поступающие на Землю; биомасса живой растительности, способной путем фотосинтеза и роста фиксировать и преобразовывать космическую энергию в химическую потенциальную энергию и хранить ее в виде органических соединений; почвенный покров, обеспечивающий существование растительности; биомасса живущих на почве и в почве консументов (животных, простейших, микроорганизмов), потребляющих фитомассу и доводящих ее до полной минерализации; водная оболочка (гидросфера); атмосфера; литосфера (оболочка биогенных осадочных пород) (Ковда, 1985).

Представление о биосфере как о целом, состоящем лишь из совокупности биогеоценозов, является ошибочным.

Границы распространения биосферы определяются возможностью проникновения жизни в геосферные оболочки — атмосферу, гидросферу и литосферу.

Атмосфера — воздушная оболочка Земли — представляет собой смесь газов (молекулярного азота — около 78%, кислорода — 21, аргона — 0,93, диоксида углерода — 0,03, других газов — менее 0,005 % по объему), содержит также взвешенные коллоидные примеси (пыль, капельки, кристаллы и пр.). В вертикальном направлении атмосферу разделяют на несколько основных слоев: тропосфера (до 9...17 км), стратосфера (до 50...55), мезосфера (до 80...85), термосфера (до 100 км). По физико-химическим процессам выделяются озоносфера, защищающая живое от жесткого ультрафиолетового излучения Солнца (10...50 км), нейтросфера (от Земли до 70...80 км), ионосфера (выше

70...80 км), хемосфера (от стратосферы до нижней части термосферы). По кинетическим процессам выделяются экзосфера (выше 600... 1000 км) и земная корона (выше 2000 км), по составу — гомосфера (до 90... 100 км) и гетеросфера (выше 90... 100 км). Сфера жизни охватывает первый слой атмосферы (тропосферу) и частично заходит в стратосферу.

Гидросфера — водная оболочка — покрывает две трети поверхности планеты. Под гидросферой понимают основные воды на земной поверхности в жидком и твердом агрегатном состоянии. Объем воды гидросферы не исчерпывается тем ее количеством, которое сосредоточено в океанах и морях. Более 40 % воды заключено в недрах литосферы; небольшая, но активно участвующая во влагообмене часть находится в атмосфере. Объем гидросферы равен 1370,3 млн км³, химический состав приближается к среднему составу морской воды. По данным академика А. П. Виноградова, общая масса воды около $1,4 \cdot 10^{18}$ т, из которых 98 % находится в океанах и морях, 1,65 — во льдах и только 0,35 % приходится на пресные воды.

Литосфера — твердая оболочка Земли, сложенная горными породами и их производными вулканического происхождения, осадочными биогенными соединениями, продуктами выветривания. Между литосферой, гидросферой и атмосферой происходит взаимообмен веществом и энергией, который проявляется, в частности, в тектонических движениях, включая землетрясения и вулканизм.

Главная структурная черта географической (геосферной) оболочки — ее ярусность. Выделяют два яруса — внешний, где основной источник энергии — Солнце, и внутренний, где источником энергии являются радиоактивный распад и иные геохимические процессы. Характерная особенность географической оболочки Земли — крайняя неоднородность, контрастность слагающих ее сфер. Слой непосредственного взаимодействия между рассмотренными сферами, в результате которого формируются природные ландшафты на суше и в океанах, называют ландшафтной сферой.

Ландшафтная сфера составляет цен-

тральную часть географической оболочки. В ней происходит трансформация солнечной энергии в различные виды земной энергии и наиболее активно проявляется органическая жизнь. Самое существенное воздействие на гидросферу и атмосферу оказывает через фотосинтез та часть географической оболочки, где содержится растительный покров — фитогеосфера.

Земля, как уже говорилось, — уникальная планета Солнечной системы, где органический мир образует биосферу, процессы в которой имеют решающее значение в миграции, концентрации, рассеивании и распределении химических элементов. Организмы выступают здесь как геологическая сила, оказывающая постоянное воздействие на географическую оболочку.

Как системное целое биосфера в соответствии с принципом эмерджентности (наличием особых свойств, не присущих ее подсистемам) — не простая механическая сумма составляющих ее

экосистем. Она представляет собой мегаобъект системного объединения всех подсистем с возникновением новых, значительно более сложных и разнообразных форм взаимосвязи и взаимодействия между живым и косным веществами. Данные формообразования зависят от ведущих средообразующих факторов и называются подсферами (аэробiosфера, гидробiosфера, геобiosфера). В свою очередь, дифференцируются и подсферы: аэробiosфера — на тропобiosферу и альтobiosферу, гидробiosфера — на фотосферу, дисфотосферу и афтосферу.

Структурообразующие факторы здесь помимо физической среды — энергетика (свет и тепло), особые условия формирования и эволюции жизни (эволюционные направления проникновения биоты на сушу, в ее глубины, надземные пространства, бездны океана), несомненно, различны. Общая иерархия экосистем биосферы представлена на рисунке 4.3.

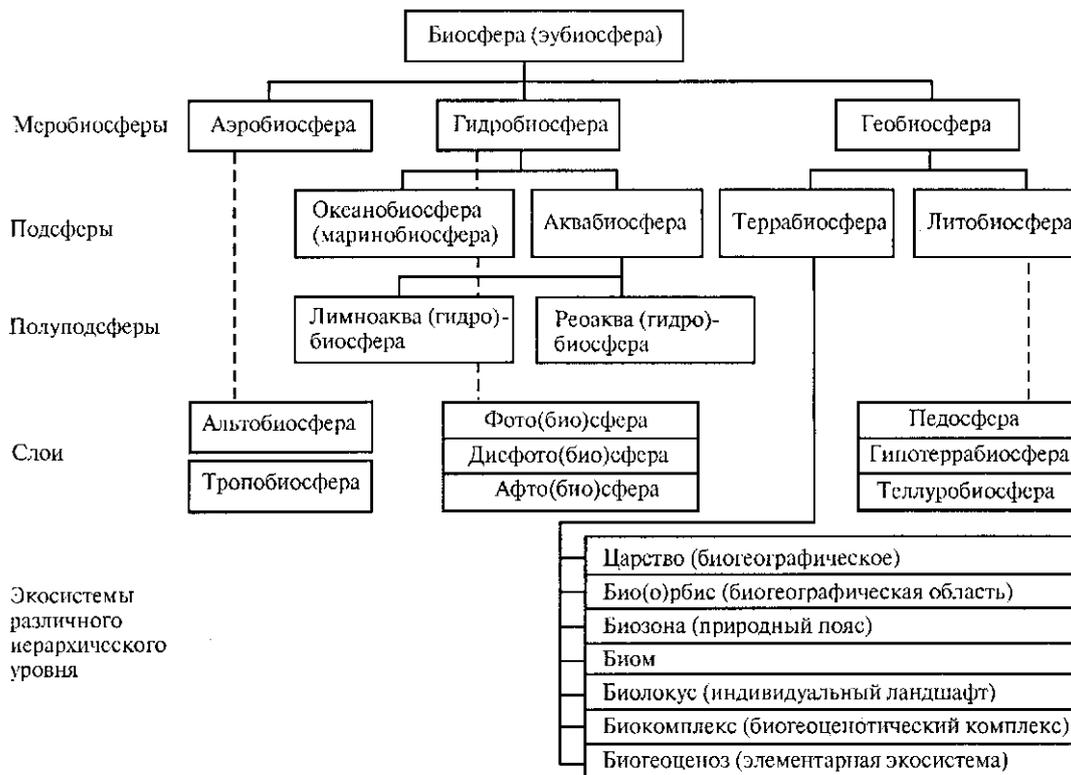


Рис. 4.3. Иерархия экосистем биосферы (Реймерс, 1994)

Иерархия природных систем биосферы — это ряд функционально соподчиненных экосистемных образований различного уровня организации (от низшего до высшего). Знание иерархии соподчинения экосистем — обязательное условие познания причинно-следственной взаимосвязи и взаимозависимости экологических процессов и явлений, происходящих в природе, для организации и целенаправленного осуществления научно обоснованного природопользования. Приведенная схема включает только иерархию природных систем. Между тем существуют и преобразованные антропогенной деятельностью пространства селитебных территорий, энергетических и промышленных объектов, транспортных систем и других антропогенных образований с естественными экосистемами. Это тоже фактор эволюции биосферы на современном этапе ее функционирования.

4.2. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЕЩЕСТВ И ФУНКЦИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В БИОСФЕРЕ

Уровни структурной организации веществ в биосфере. Живое вещество, несмотря на огромное разнообразие составляющих организмов, едино в своей вещественной, атомной основе. Но процессы атомной миграции связывают между собой не только сами организмы, ни на миг не прекращается биогеохимическая миграция из организма в среду и обратно. Эта миграция была бы невозможна, если бы элементный химический состав организмов не был близок к химическому составу земной коры. Но последний определяется в конечном счете не сугубо геологическими причинами, а факторами и закономерностями космического характера — строением атомов. Космические, ядерные процессы оставили свой след и на облике планеты, и на материальном субстрате планетарного явления — жизни.

Рассматривая жизнь как космический процесс, академик В. И. Вернадский оговорил целесообразность и перспективу нового толкования Периодической системы элементов Д. И. Менделеева, исходя из хорошо прослежи-

ваемой связи периодического закона с закономерностями биологической миграции атомов, с сущностью живого. Современные исследования агрохимиков, биохимиков, физиологов, изучающих состав организмов и динамику в них различных элементов, подтверждают эту идею.

Изучение химического состава биосферы представляет большой интерес. Оказалось, что в организмах явно преобладают легкие элементы: Н, С, N, О, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca (из тяжелых распространено лишь железо). Эти элементы образуют в организмах такие соединения, которые, как правило, вне живого вещества не встречаются. Особое место в жизни организмов занимают радиоактивные элементы.

По химическому составу, так же как и по морфологическим признакам, можно определять и различать биологические виды, роды, семейства и т. д. Но в отличие от признаков морфологических и физиологических химический видовой признак связывает собой не только все организмы и все живое вещество в целом, он ближайшим образом связывает все организмы с химией земной коры, с перемещением атомов. Установлено, что в ходе геологической истории организмы адаптировались к определенному химическому составу среды, т. е. между ними и средой установились определенные биогеохимические отношения. Химизм среды в огромной степени сказывается на особенностях географического расселения растительных и животных организмов.

Функции живого вещества. Мощь геологического и геохимического воздействия живого вещества на поверхностные оболочки планеты целиком и полностью определяется особыми, только живым организмам присущими геохимическими функциями.

В течение всего геологического времени живое вещество в биосфере выполняет важные функции планетарного масштаба. Здесь прежде всего уместно вспомнить исследования В. И. Вернадского, обозначившего следующие биогеохимические функции живого вещества: газовые (кислородно-углекислотная, азотная, водная), концентрационные, окислительно-восстановитель-

ные (окислительная, восстановительная), биохимические, биогеохимические функции человека.

Принято различать шесть основных функций живого вещества.

Энергетическая функция заключается в осуществлении связи биосферно-планетарных явлений с космическим излучением, главным образом с солнечной радиацией. В основе этой функции лежит фотосинтетическая деятельность зеленых растений, в результате которой происходят аккумуляция солнечной энергии и ее перераспределение между отдельными компонентами биосферы. За счет накопленной солнечной энергии происходят все жизненные явления на Земле. Существуют оценки, согласно которым ежегодно растения накапливают $1842 \cdot 10^{15}$ кДж энергии.

Газовая функция обуславливает миграцию газов и их превращения, обеспечивает газовый состав и динамику газов биосферы. В процессе функционирования газового вещества создаются азот, кислород, диоксид углерода, сероводород, метан и др. Преобладающая масса газов на Земле имеет биогенное происхождение. За год растения выделяют в атмосферу примерно 123 млрд т кислорода и поглощают около 170 млрд т диоксида углерода.

Концентрационная функция связана с извлечением и накоплением живыми организмами биогенных элементов окружающей среды. Как уже отмечалось, в организмах преобладают атомы легких элементов; концентрация их в теле живых организмов в сотни и тысячи раз выше, чем во внешней среде. Этим объясняется неоднородность химического состава биосферы. Так, на долю кислорода, углерода, водорода и азота приходится 99 % массы живого вещества. Морские водоросли концентрируют йод, диатомовые водоросли и злаки — кремний, фиалки — цинк, моллюски и ракообразные — медь и т. п. Особенно заметно концентрационная функция проявилась в выделении солей кальция в виде карбонатов, фосфатов и солей щавелевой кислоты. Способностью концентрировать и в последующем выделять соли кальция в нерастворимый осадок обладают многие виды бак-

терий, одноклеточных организмов, водоросли, мхи, высшие растения и животные. Их отмершие остатки отложились в виде огромных залежей известняков, мела и туфов.

Окислительно-восстановительная функция заключается в химическом превращении веществ, содержащих атомы с переменной степенью окисления (соединения железа, марганца и др.). В результате происходят разнообразные превращения большинства химических соединений. При этом на поверхности Земли преобладают биогенные процессы окисления и восстановления. В почве, водной и воздушной средах образуются соли, окислы, новые вещества как результат окислительно-восстановительных реакций. С деятельностью микроорганизмов связано формирование железных и марганцевых руд, известняков и т. п. Научно установлено, что в древнейшую геологическую эпоху в атмосфере Земли было относительно большое содержание диоксида углерода и сравнительно низкое — кислорода. Появление окисляющих бактерий и зеленых растений постепенно привело к увеличению содержания кислорода в атмосфере Земли. Появление анаэробных организмов (способных жить при недостатке или при отсутствии кислорода) способствовало восстановительным реакциям в природе. Так образовались водород, окислы азота и сернистых металлов, сероводород, метан, осадочные породы в подводных условиях, заболоченные почвы при недостатке воздуха.

Деструктивная функция связана с разложением организмов после смерти. В результате происходят минерализация органического вещества и превращение его в косное. Идет накопление биогенного и биокосного веществ биосферы. Кроме того, в почве часть освобождающихся веществ под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов превращаются в почвенный гумус со значительным запасом энергии.

Информационная функция заключается в накоплении, сохранении и передаче молекулярной (генетической код, вещества-регуляторы) и сиг-

нальной (в том числе нервной и интеллектуальной) информации, необходимой для существования видов и поддержания равновесия в экосистемах.

Живое вещество распределено по планете крайне неравномерно, о чем свидетельствует, в частности, широкий диапазон изменений количества фитомассы (в тропических лесах — свыше 500 т/га, в тайге — 300...400, в степях, на горных лугах, в саваннах — 125...150, в тундре — 12...25 и в пустынях — 2,5 т/га).

Далеко не одинакова по уровню развития и сложности организация живого вещества на Земле. По сложности различают следующие уровни организации жизни: молекулярный, клеточный, организменный, популяционный, биоценоотический, биосферный.

Круговорот биогенов. В биосфере, как и в каждой составляющей ее элементарной экосистеме, постоянно осуществляются круговороты химических элементов — биогенов. Под круговоротом биогенов понимают взаимный обмен химическими элементами между экологическими компонентами, составляющими благодаря этому структурное целое экосистемы. Главная причина возникновения такого уникального «технологического изобретения» природы состоит в том, что постоянное несоответствие между потребностями животных организмов и наличием доступных (усвояемых) питательных веществ обусловило необходимость повторного использования биогенов по типу круговорота (цикла). Ежегодно такие циклы приводят в движение примерно 480 млрд т веществ (преимущественно биогенных элементов).

Сотни миллионов лет идут на Земле процессы фотосинтеза органического вещества из косных компонентов. Земной шар — некоторое конечное физическое тело. И закономерно предположить, что различные химические элементы и их многообразные соединения также физически конечны. Казалось бы, длящиеся миллионы лет ассимиляционные процессы могли привести к полному истощению. Этого, однако, не наблюдается. В. Р. Вильяме писал, что единственный способ придать чему-то конечному свойства бесконечного — это заставить конечное вращаться по

замкнутой кривой, т. е. вовлечь его в круговорот. И в самом деле, все вещества на нашей планете находятся в процессе круговорота. *Круговорот веществ* представляет собой многократное участие их в процессах, протекающих в атмосфере, гидросфере, литосфере, в том числе в тех их слоях, которые входят в биосферу планеты. (Надо иметь в виду, что фактически совершают полный круговорот не вещества, а химические элементы, поэтому более точным будет термин «круговорот химических элементов».) Чтобы биосфера продолжала существовать, чтобы не прекращалось развитие жизни, должны происходить непрерывные химические превращения ее живого вещества, т. е. после использования одними организмами вещества должны переходить в усвояемую для других организмов форму. Такого рода циклическая миграция веществ и химических элементов происходит только при определенных затратах поступающей от Солнца энергии. Если поступающее в биосферу в виде метеоритов и пыли космическое вещество не учитывать (масса его крайне незначительна по сравнению с веществом биосферы), то правомерно утверждать, что вовлекаемое в биосферные процессы количество вещества на протяжении целых геологических периодов остается постоянным. Круговорот основных веществ в биосфере изображен на рисунке 4.4.

Основы учения о природных круговоротах вещества и энергии в отечественной науке были заложены В. И. Вернадским, В. Р. Вильямсом, А. П. Виноградовым и их учениками.

В сопряженном функционировании и развитии всех компонентов и процессов биосферных систем проявляется, по В. И. Вернадскому, наиболее характерная черта биосферы — ее организованность. Круговорот веществ, несомненно, является весьма убедительным выражением и подтверждением такой организованности.

Различают два основных круговорота веществ: большой (геологический) и малый (биологический или биотический), охватывающий всю планету и являющийся составной частью большого круговорота (рис. 4.5).

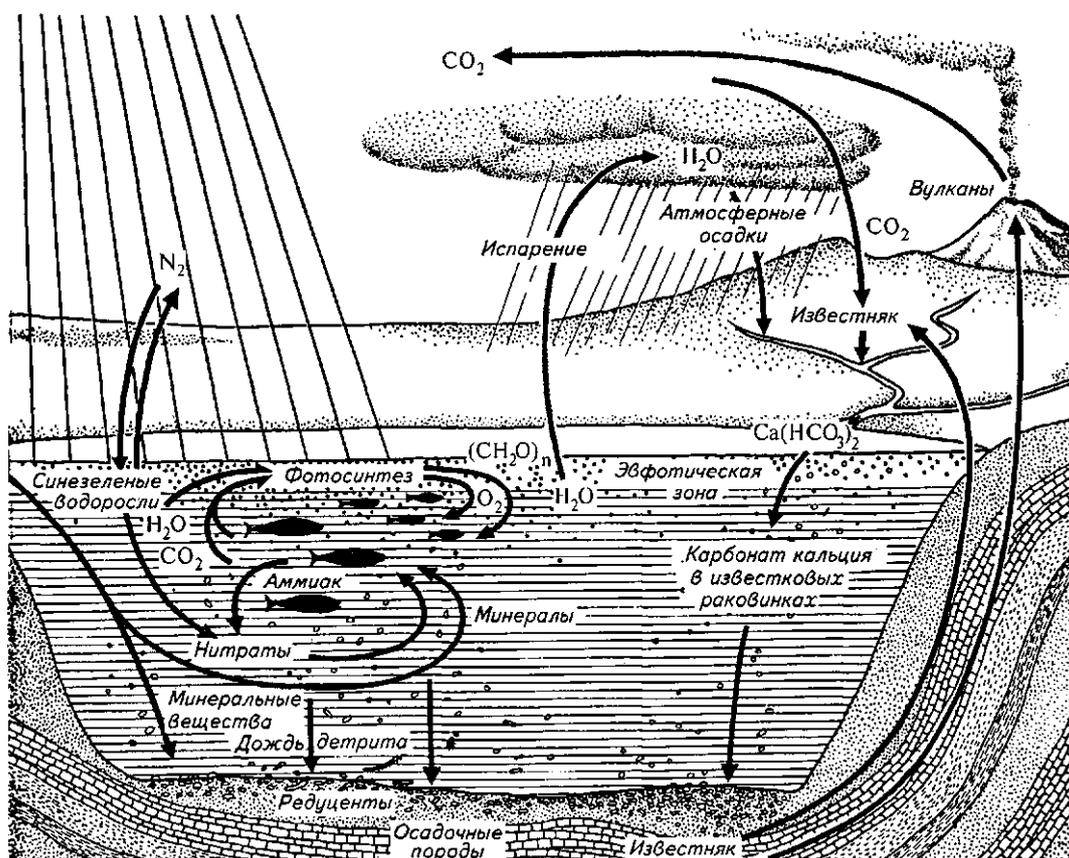


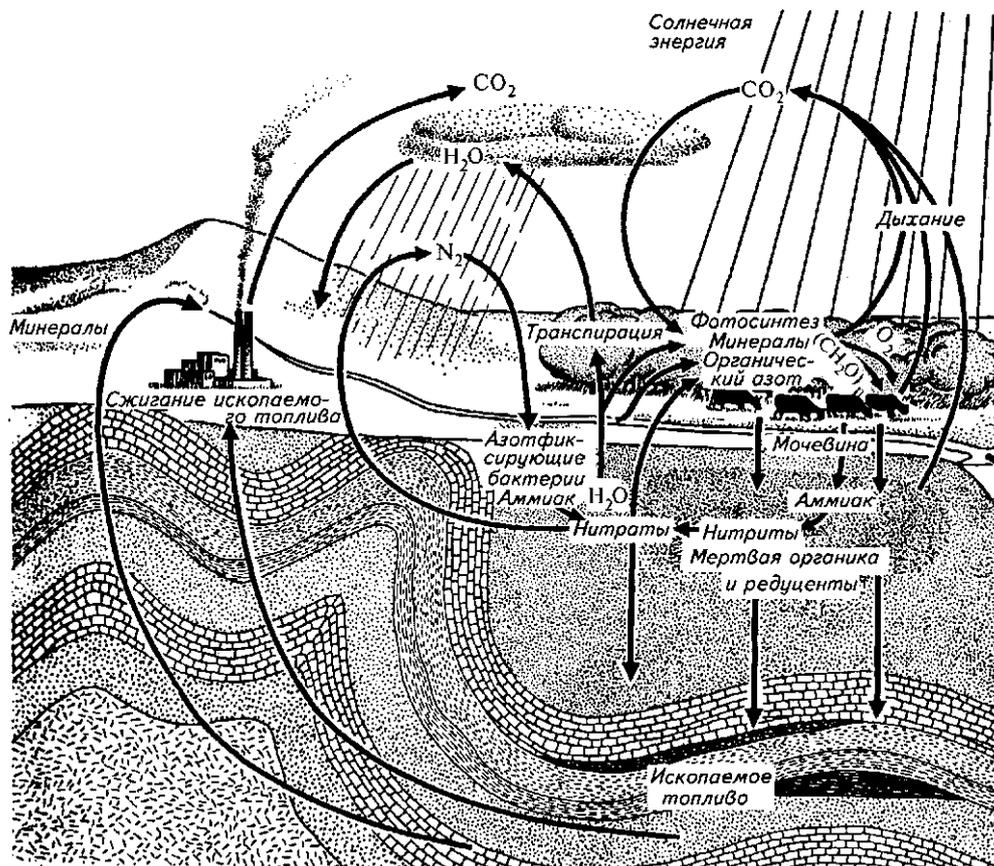
Рис. 4.4. Круговорот основных

Под геологическим круговоротом понимают обмен веществ между сушей и Мировым океаном. В геологическом круговороте прежде всего происходит циркуляция воды, включающая выпадение атмосферных осадков, поверхностный и подземный стоки, инфильтрацию, испарение, перенос водяного пара в атмосфере, конденсацию, повторное выпадение атмосферных осадков. Вместе с водой приходит в движение огромная масса растворенных в ней веществ, которые уносятся поверхностным и подземным стоками в океан, где они осаждаются на дне или в виде делювиальных отложений.

Круговорот воды между океаном и сушей — важнейший фактор поддержания нормального роста, развития и размножения живых организмов на Земле, а также обязательное условие обмена веществ между живой и неорганической

природой. Вода — необходимый для жизни фактор, составная часть клеток, источник водорода при фотосинтезе, среда обитания. В то же время вода в геологическом обороте выступает мощным трансформирующим фактором, гигантской силой разрушения литосферы. Круговорот воды заключается не только в переносе масс. Это фазовые превращения, образование растворов и взвесей, выпадение осадков, кристаллизация, наконец разнообразные химические реакции.

В круговороте воды важная роль принадлежит физиологическому процессу транспирации — испарению воды надземными органами растений, которые на синтез 1 кг сухого вещества расходуют в среднем 400...450 л воды. Растения берут из почвы огромное количество воды, которую, как и растворенные в ней элементы питания, вовлекают в биологический круговорот.



веществ в биосфере (Хатчинсон, 1972)

С возникновением живого вещества возник биологический (биотический) круговорот, который называют также большим биосферным кругом биотического обмена. Он представляет собой безостановочный планетарный процесс закономерного циклического, неравномерного во времени и в пространстве перераспределения вещества, энергии и информации, многократно входящих в непрерывно обновляющиеся экологические системы биосферы. Выделяют и малый (биогеоценотический) круговорот, отличающийся тем, что он происходит в пределах элементарной экологической системы — биогеоценоза. В. И. Вернадский впервые наиболее полно сформулировал основные принципы биогенной миграции стоков на земной поверхности и в целом в биосфере. Он указал, что этот процесс либо осуществляется при непосредственном

участии живого вещества, либо протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом, населяющим или населявшим ее. Биологический (биотический) круговорот заключается в круговой циркуляции веществ между почвой, растениями, животными и микроорганизмами. Суть этой циркуляции — поглощение минеральных веществ, включение их в состав растительных организмов, от них через пищевые цепи в организмы животных и далее (через звено редуцентов) возврат обратно в атмосферу или почву (рис. 4.6). Биологический (биотический) круговорот, включая в свои многочисленные циклы косное вещество, непрерывно и активно влияет на облик и состояние биосферы. От интенсивности (быстроты) этого круговорота зависят количество и разнообразие живых организмов на Земле и соответственно

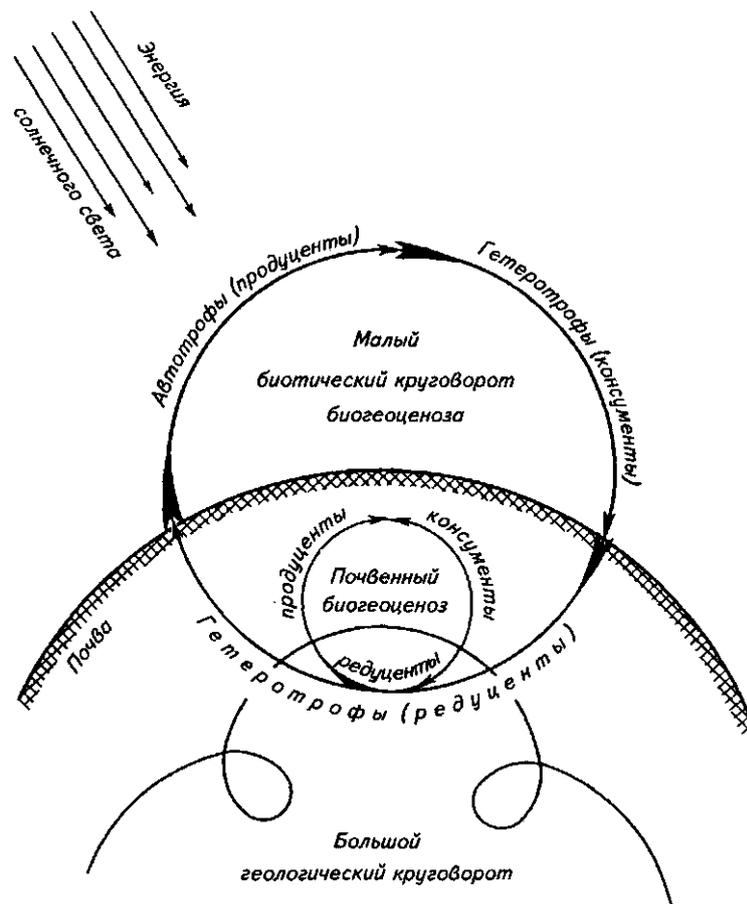


Рис. 4.5. Природные круговороты (из книги «Диалектика живой природы», 1984)

объем накапливаемой органической продукции.

Важный показатель интенсивности биологического круговорота — скорость обращения химических элементов. Ее можно оценить по скорости накопления и разложения мертвого органического вещества, образовавшегося в результате ежегодного опада растений и отмирания животных организмов. Отношение массы мертвого растительного вещества (лесной подстилки, степной ветоши и др.) к массе ежегодного опада отражает интенсивность процесса деструкции. Интенсивность биологического круговорота в какой-либо экосистеме тем меньше, чем выше данный индекс. Наивысшее значение индекса характерно для заболоченных лесов (более 50), тундр (20...40). Эти цифры

показывают, во сколько раз масса не успевающих разложиться остатков больше массы ежегодного опада. В степях, где индекс близок к 1,0...1,5, в субтропических лесах (около 0,7), в саваннах (0,2) процессы разложения ежегодно отмирающего и поступающего в опад органического вещества происходят весьма активно, биологический круговорот оценивается как интенсивный. Во влажных тропических лесах растительные остатки почти не накапливаются. Высвобождающиеся в результате минерализации вещества сразу же воспринимаются корнями растений и снова включаются в состав растительности.

Рассматривая особенности биотического круговорота, целесообразно иметь в виду его системообразующие

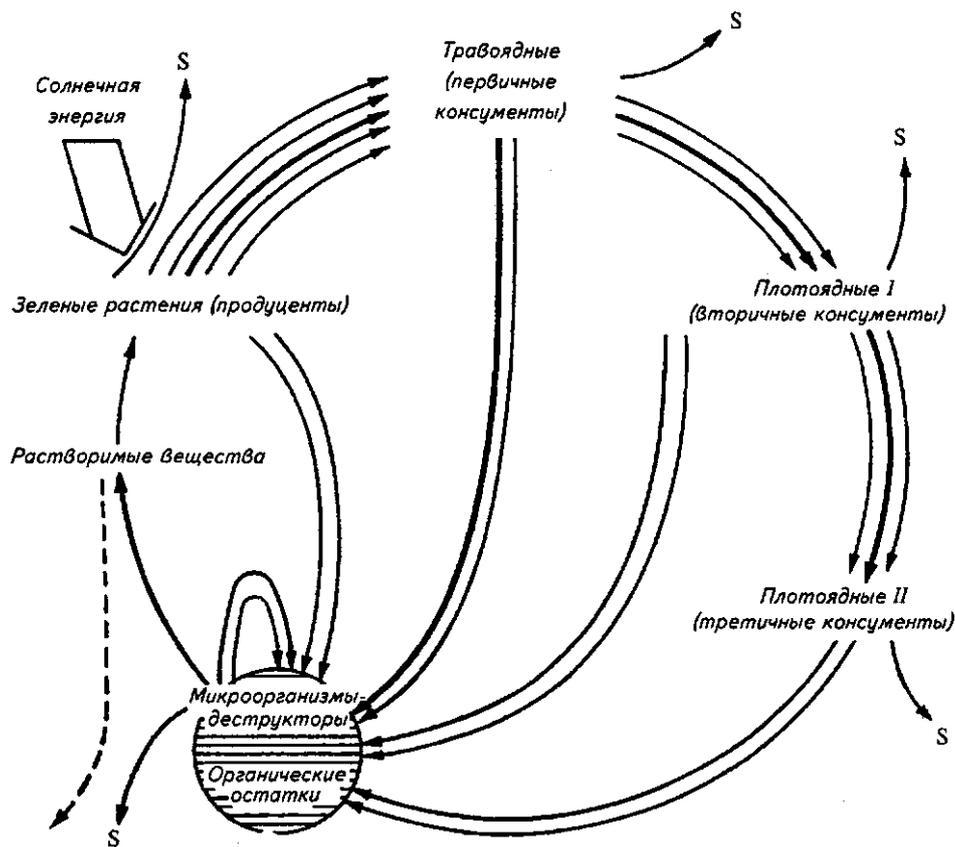


Рис. 4.6. Циркуляция веществ (жирные линии) и энергии (тонкие линии) в экосистеме:

S— энтропия (Рамад, 1981)

функции, поскольку реализация их имеет принципиально важное значение как для грамотного формирования агроэкосистем в частности, так и для экологизации сельскохозяйственного производства в целом.

Соавторы фундаментального коллективного труда «Диалектика живой природы» (1984) А. И. Игнатов и С. И. Исаев называют пять таких функций.

1. Обеспечение непрерывности жизни на Земле. Необходимо, чтобы сельскохозяйственное производство также было непрерывным, что должно обеспечиваться включением соответствующих производственных систем в уже действующие природные круговороты.

2. Расширение сферы жизни, обеспечение максимально возможного «оживления» живого вещества. Применитель-

но к сельскому хозяйству эта функция связана с повышением его продуктивности. Понимание путей реализации этой функции в действующих круговоротах природы имеет исключительно важное значение. Пути же эти — повышение фотосинтетической способности, увеличение качественного разнообразия видов, удлинение пищевых цепей, особенно в третьем (гетеротрофном) звене, и т. д.

3. Биотический круговорот должен служить основой системообразования живой природы на высших уровнях ее организации, способом существования биоценозов и биосферы. Взаимозависимости между основными звеньями биотического круговорота, осуществляясь на конкретных участках суши и воды, реализуются в образовании от-

носителю устойчивых биологических систем — биогеоценозов. Существование биогеоценозов обеспечивается, условно говоря, «внутренним» круговоротом органических химических элементов, а также обменными связями между биогеоценозами. Адекватно этому необходимо, чтобы и сельское хозяйство базировалось на своей природной основе, органично входило в соответствующие биогеоценозы.

4. Поддержание, укрепление и расширение связей с общим геологическим круговоротом. Биотический круговорот сопряжен с большим (геологическим) и значительным числом частных круговоротов разнообразных веществ и химических элементов неживой природы (вода, диоксид углерода, кислород и др.), начинаясь и замыкаясь в почве, которая является основной сферой взаимодействия живого и неживого вещества. В почве живая природа наиболее интенсивно трансформирует свое неживое основание и повышает его способность обеспечивать необходимые условия существования и функционирования природных систем. Содержанием в почве ресурсов питания и энергии, доступностью их определяется каждый новый цикл биотического круговорота. В процессе эволюции живой природы сформировались пути влияния на неживое основание биотического круговорота, существенно интенсифицирующие мощность продуцируемого им (основанием) потока веществ и энергии. Создавая производственные сельскохозяйственные системы, целесообразно предусматривать увеличение количества доступных растениям питательных веществ, развитие способности растений максимально ассимилировать эти вещества и энергию, ускорение самого биотического круговорота.

5. Спиралевидное развитие живой и неживой природы. Каждый виток по своим масштабам и качественным особенностям превосходит предыдущие. Круговороты в данном случае выступают в качестве механизмов не только образования и функционирования систем, но и их развития. Оптимизация сельскохозяйственной деятельности диктует необходимость системного ее осуществ-

ления с учетом всего общественно-природного круговорота вещества и энергии. Эта деятельность должна способствовать динамичному и прогрессивному развитию как отдельных звеньев биогенных круговоротов, так и биотического круговорота веществ и энергии в целом.

4.3. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРУГОВОРОТЫ ОСНОВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Возникновение на Земле живой материи обусловило возможность непрерывной циркуляции в биосфере химических элементов, перехода их из внешней среды в организмы и обратно. Эта циркуляция химических элементов и получила название биогеохимических круговоротов. *Биогеохимический круговорот* представляет собой часть биотического круговорота, включающую обменные циклы химических элементов абиотического происхождения, без которых не может существовать живое вещество (углерод, кислород, водород, азот, фосфор, сера и многие другие). Обычно выделяют (Рамад, 1981) три основных типа биогеохимических круговоротов: круговорот воды, круговороты газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере (океан), осадочные циклы химических элементов с резервным фондом в земной коре.

Круговорот воды (рис. 4.7). Вода — основной элемент, необходимый для жизни. В количественном отношении это наиболее распространенная неорганическая составляющая живой материи. Общеизвестно, например, что у человека на воду приходится 63 % массы тела, у грибов — 80, у некоторых видов медуз — 98 %. В трех агрегатных состояниях вода присутствует в основных составных частях биосферы (атмосфере, гидросфере, литосфере). Гидросфера занимает около 75 %₂ поверхности земного шара (363 млн км²). В океанах сосредоточено 97 % общей массы воды биосферы. Предполагают, что суммарное испарение уравнивается выпадением осадков. Из океана испаряется больше воды, чем поступает в него с осадками, на суше — наоборот. «Лишние» осадки,

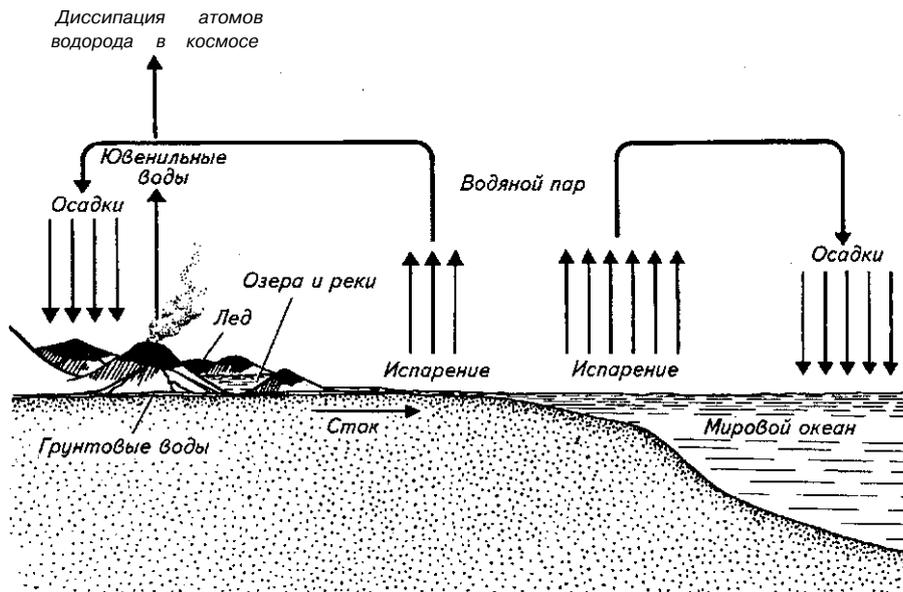


Рис. 4.7. Круговорот воды в биосфере (Пенмэн, 1972)

выпадающие на суше, попадают в ледяные шапки и ледники, пополняют грунтовые воды (оттуда растения черпают воду для транспирации), наконец, оказываются в озерах и реках, возвращаясь постепенно со стоком в океан. В основном круговорот воды происходит между атмосферой и океаном. На рисунке 4.8 приведена схема биотического круговорота, которая дает представление о движении веществ под воздействием однонаправленного потока энергии. Как известно, в природе химические элементы распределяются по экосистеме большей частью неравномерно и имеют разную химическую форму. На приведенном рисунке часть круговорота, которая физически или химически отделена от организмов (резервный фонд), обозначена как «фонд питательных веществ», а обменный фонд представлен заштрихованным кольцом, которое объединяет автотрофные и гетеротрофные организмы.

Наличие в атмосфере значительного резервного фонда благоприятствует тому, что круговороты некоторых газообразных веществ способны к достаточно быстрой саморегуляции при различных локальных нарушениях равновесия. Так, избыток диоксида углерода,

накопившегося где-либо в результате усиленного окисления или горения, быстро рассеивается ветром; кроме того, интенсивное образование диоксида углерода компенсируется большим его потреблением растениями или превращением в карбонаты. В конечном итоге в результате саморегуляции по типу отрицательной обратной связи круговороты газообразных веществ в глобальном масштабе относительно совершенны. Основными такими циклами являются

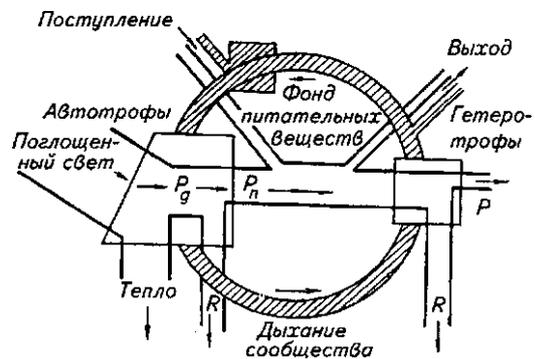


Рис. 4.8. Биогеохимический круговорот (заштрихованное кольцо) на фоне потока энергии:

P — валовая продукция; P_n — чистая первичная продукция; P — вторичная продукция; L — дыхание (Одум, 1975)

круговороты углерода (в составе диоксида углерода), азота, кислорода, фосфора, серы и других биогенных элементов.

Круговорот углерода (рис. 4.9). На суше он начинается с фиксации диоксида углерода растениями в процессе фотосинтеза с образованием органических веществ и побочным выделением кислорода. Часть связанного углерода выделяется во время дыхания растений в составе CO_2 .

Почвенные грибы в зависимости от скорости роста выделяют от 200 до 2000 $\text{см}^3 \text{CO}_2$ на 1 г сухой массы. Немало диоксида углерода выделяют бактерии, которые в пересчете на живую массу дышат в 200 раз интенсивнее человека. Диоксид углерода выделяется также корнями растений и многочисленными живыми организмами. В результате процессов разложения органического вещества в лесах умеренного климата с 1 га почвы в течение года выделяется 7...8 т, в черноземных степях и лесостепи — около 15 т, в сухих степях — 2,0...2,5 т CO_2 . Микроорганизмы разлагают отжившие растения и погибших животных, в результате чего углерод мертвого органического вещества окисляется до диоксида углерода и снова попадает в атмосферу.

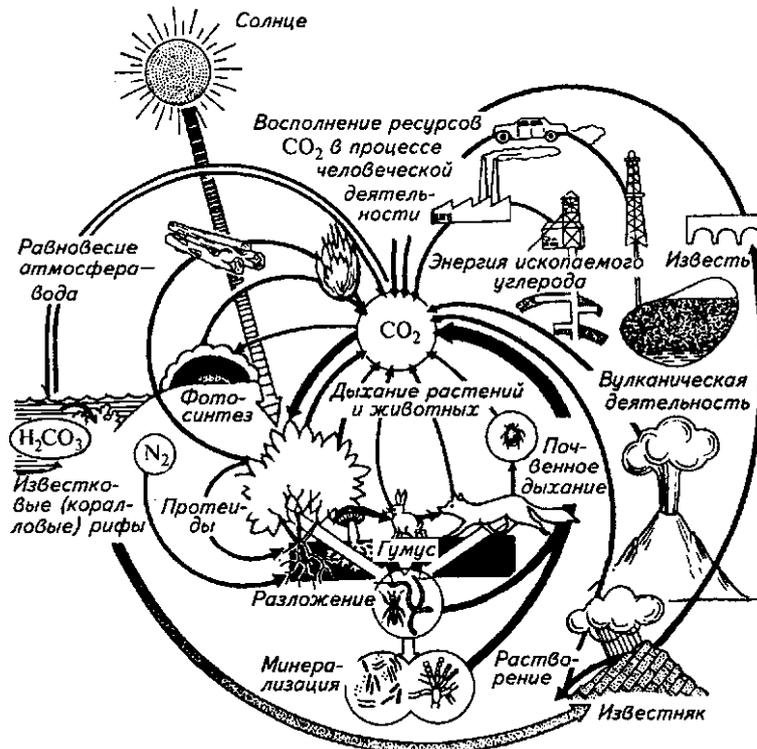
Ежегодно зеленые растения Земли извлекают из атмосферы до 300 млрд т CO_2 (100 млрд т углерода), что совпадает с итоговым поступлением этого газа в атмосферу от разных источников (дыхания растений и животных, промышленности, транспорта и т. д.). При этом годичный круговорот массы углерода на суше определяется как массой составляющих его звеньев биосферы, так и количеством углерода, захватываемым каждым звеном. За год в процессе фотосинтеза связывается 60 млрд т углерода; в процессе разложения органического вещества высвобождается 48 млрд; поступает в почву и «консервируется» в многолетних фитосенцах 10 млрд; погребается в осадочной толще литосферы (включая реакции диоксида углерода с горными породами) 1 млрд; поступает в результате сжигания топлива 4 млрд т углерода.

Круговорот углерода совершается и в водной среде, но здесь он более сложен

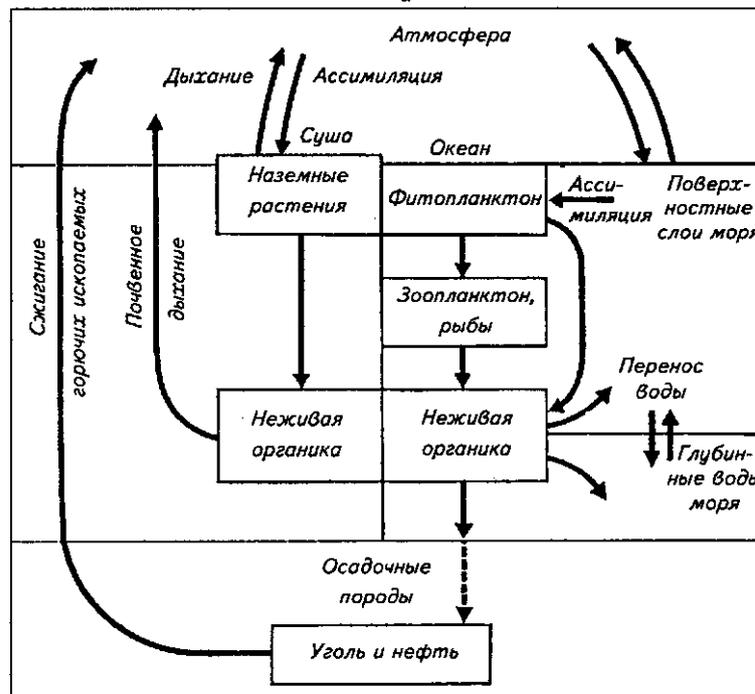
по сравнению с континентальным, поскольку возврат этого элемента в форме CO_2 зависит от поступления кислорода в верхние слои воды как из атмосферы, так и из нижележащей толщи. А. М. Алпатьев (1983) считает, что в целом показатели годичного круговорота массы углерода в Мировом океане почти вдвое ниже, чем на суше. Между сушей и Мировым океаном постоянно идут процессы миграции углерода, в которых преобладает вынос его в форме карбонатных и органических соединений с суши в океан. Из Мирового океана на сушу углерод поступает в незначительных количествах в форме CO_2 выделяемого в атмосферу. Углекислый газ атмосферы и гидросферы обменивается и обновляется живыми организмами за 395 лет.

Круговорот азота (рис. 4.10). Так же, как круговорот углерода и другие круговороты, охватывает все области биосферы. В круговороте соединений азота ключевое значение принадлежит микроорганизмам: азотфиксаторам, нитрификаторам и денитрификаторам. Другие же организмы оказывают влияние на круговорот азота лишь после того, как он войдет в состав их клеток. Как известно, бобовые и представители некоторых родов других сосудистых растений (например, ольха, араукария, лох) фиксируют азот с помощью бактерий-симбионтов. То же наблюдается и у некоторых лишайников, фиксирующих азот с помощью симбиотических синезеленых водорослей. Очевидно, что биологическая фиксация молекулярного азота свободноживущими и симбиотическими организмами происходит и в автотрофном, и в гетеротрофном звеньях экосистем.

Суммарное количество азота в атмосфере составляет приблизительно $3,8 \cdot 10^{15}$ т, а в водах Мирового океана — $2,0 \cdot 10^{13}$ т. Ежегодно азотфиксирующие организмы суши улавливают примерно $4,4 \cdot 10^7$ т, а в водной среде годовая биологическая фиксация составляет $1,0 \cdot 10^7$ т, т. е. всего в 4,4 раза меньше по сравнению с сушей. Между тем в наземных организмах (моментальная масса) содержится $1,22 \cdot 10^{10}$ т азота, а в донных — $0,025 \cdot 10^{10}$ т (меньше в 50 раз). В среднем за год в целом в биосфере из воздуха фиксируется примерно 140...



а



б

Рис. 4.9. Круговорот углерода:

а — в биосфере (Дювиньо, Танг, 1968); б — на суше и в океане (Болин, 1972)

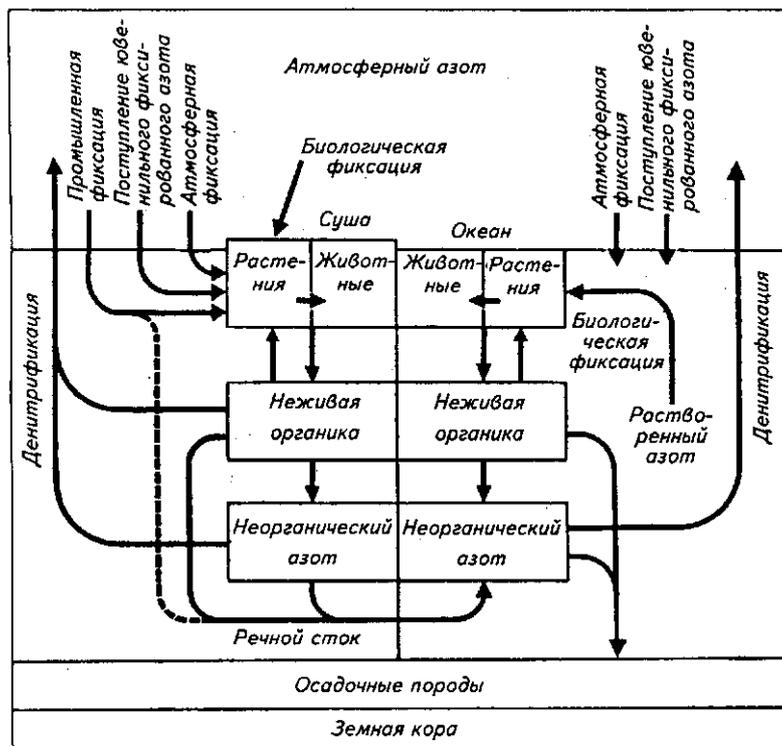
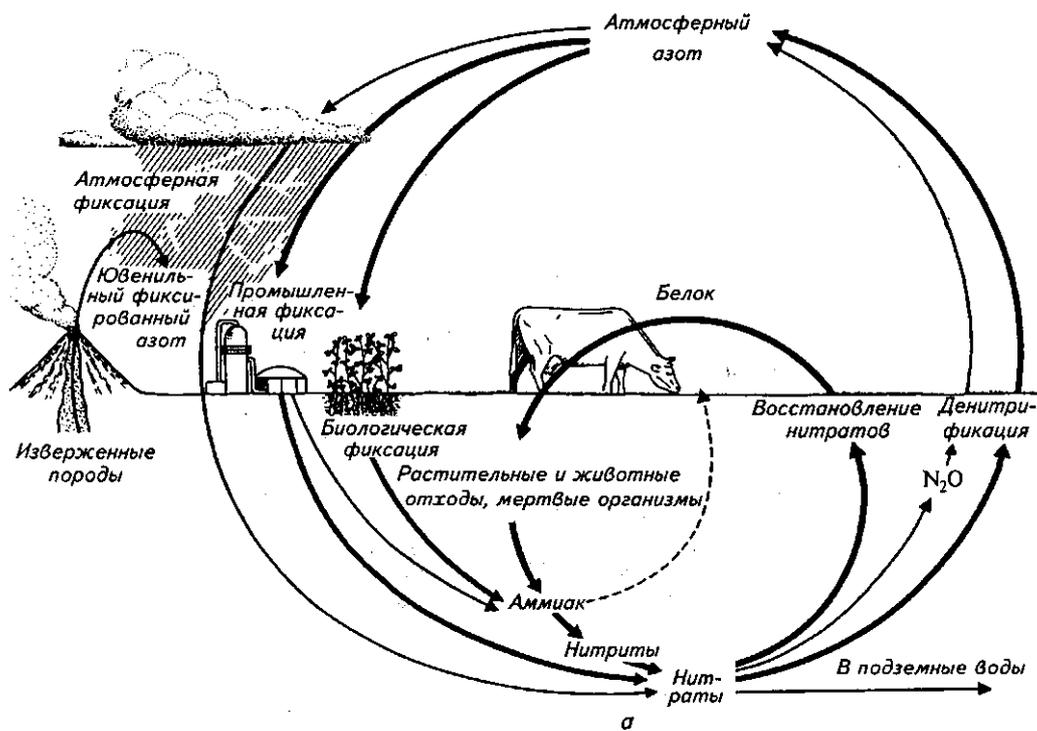


Рис. 4.10. Круговорот азота в биосфере:

а — общая схема круговорота; б — схема круговорота на суше и в Мировом океане (Делвич, 1972)

700 мг азота на 1 м² (это преимущественно биологическая фиксация). Небольшое количество азота (в умеренных областях не более 35 мг/м² в год) фиксируется в результате электрических разрядов и фотохимических процессов.

Из огромного запаса азота в атмосфере и осадочной оболочке литосферы в круговороте его участвует только фиксированный азот, усваиваемый живыми организмами суши и океана. В категорию обменного фонда этого элемента входят: азот годичной продукции биомассы, азот биологической фиксации бактериями и другими организмами, ювенильный (вулканогенный) азот, атмосферный (фиксированный при грозах) и техногенный.

Несомненный интерес представляет содержание азота и зольных элементов в растительности разных типов. Согласно данным таблицы 4.1 наибольшее количество названных ингредиентов содержится в биомассе лесной растительности.

Нетрудно заметить, что, за исключением растительности тундры, где содержание азота и зольных элементов примерно одинаково, в растительности почти всех других типов масса азота в 2...3 раза меньше массы зольных элементов. Количество элементов, оборачивающихся в течение года (т. е. емкость биологического круговорота), наибольшее в тропических лесах, затем в черноземных степях и широколиственных лесах умеренного пояса (дубравах).

Согласно В. В. Добровольскому (1980), масса азота, связанного в биомассе суши, составляет 14 020 млн т, а

зольных элементов — 34 062 млн т. В процессе формирования годовой продукции вся растительность суши вовлекает в круговорот 2562 млн т азота и 2762 млн т зольных элементов. Этих элементов в тысячи раз меньше в биомассе фитопланктона Мирового океана. Тем не менее в результате многократного воспроизводства организмов фитопланктона через них проходит за год 2762 млн т азота и 12 274 млн т зольных элементов, что больше, чем на суше.

Круговорот кислорода (рис. 4.11). В круговороте кислорода отчетливо выражены активная геохимическая деятельность живого вещества, его первостепенная роль в этом процессе. Биогеохимический цикл кислорода является планетарным процессом, который связывает атмосферу и гидросферу с земной корой. Ключевые звенья этого круговорота: образование свободного кислорода при фотосинтезе в зеленых растениях, потребление его для осуществления дыхательных функций всеми живыми организмами, для реакций окисления органических остатков и неорганических веществ (например, сжигания топлива) и другие химические преобразования, ведущие к образованию таких окисленных соединений, как диоксид углерода и вода, и последующему вовлечению их в новый цикл фотосинтетических превращений.

Если исходить из массы кислорода, синтезируемого на протяжении года (с учетом потраченных на процесс дыхания 15 %), то можно считать, что ежегодно зеленая растительность нашей планеты продуцирует примерно

4.1. Азот и зольные элементы в растительности разного типа, кг/га (Родин, Базилевич, 1965)

Тип растительности	Содержание в биомассе		Ежегодно захватывается растительностью		Ежегодно возвращается в почву с опадом	
	азота	зольных элементов	азота	зольных элементов	азота	зольных элементов
Арктические тундры	81	78	21	17	20	17
Кустарничковые тундры	476	425	52	58	51	56
Ельники северной тайги	350	620	58	60	48	52
» южной тайги	720	1980	41	114	35	85
Дубравы	1150	4650	95	235	57	198
Степи луговые	274	909	161	521	161	521
» сухие	103	242	45	116	45	116
Пустыни полукустарничковые	61	124	18	41	18	41
Влажные тропические леса	2940	8140	427	1602	261	1279

300-10⁹ т кислорода. Около 75% этого количества выделяется растительностью суши и немногим более 25% — фотосинтезирующими организмами Мирового океана (В. В. Добровольский, 1980).

Расчет полного прохождения через всю систему круговорота всего атмосферного кислорода можно представить так. Масса атмосферы равна 5,2 · 10¹⁵ т, на долю кислорода приходится 23,3% этого количества. Следовательно, в газовой оболочке Земли содержится около 1,2 · 10¹⁵ т кислорода. В процессе фотосинтеза растения ежегодно выделяют примерно 300 млрд т этого газа. Таким образом, за 4 тыс. лет фотосинтетические организмы могли бы «выработать» существующее количество кислорода (К. М. Сытныкидр., 1987).

В растворенном состоянии свободный кислород содержится и в природных водах. По данным А. П. Виноградова, суммарный объем вод Мирового океана равен 137 · 10¹⁹ л. В 1 л воды растворено от 2 до 8 см³ кислорода. Нетрудно подсчитать, что в водах Мирового океана находится (2,7... 10,9) · 10¹² т растворенного кислорода.

Нельзя, разумеется, упускать из виду, что часть органического вещества захороняется, вследствие чего из годового круговорота выводится связанный кислород.

А. М. Алпатьев (1983) дает следующую количественную оценку годового круговорота кислорода на суше и в океане (млрд т):

Поступление в процессе фотосинтеза на суше	160
Поступление в процессе фотосинтеза в океане	80
Биохимические потребления в океане	78
Связывается в древесных насаждениях	27
Расход на биологическое окисление	82
» » гетеротрофное дыхание на суше	20
» » технологические процессы	20
» » процессы выветривания	6
» » усиление окислительных процессов на обрабатываемых землях	7
Захоронение с органическим веществом	1,5

Следует также учитывать использование кислорода для процесса горения и других видов антропогенной деятельности. Предполагается, что в обозримой перспективе ежегодное суммарное потребление кислорода достигнет 210...230 млрд т. Между тем ежегодное

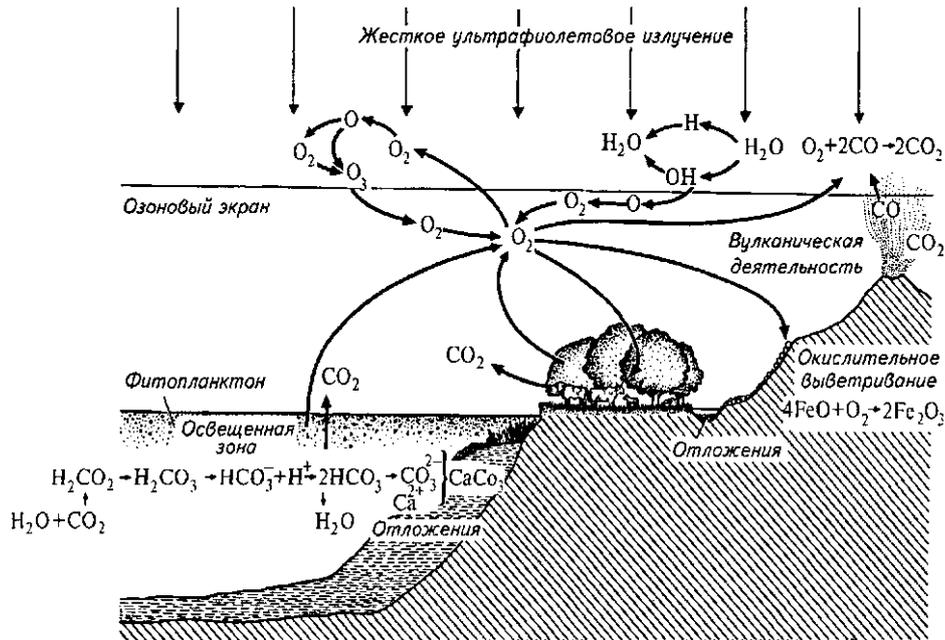


Рис. 4.11. Упрощенная схема некоторых путей круговорота кислорода на Земле (Клауд, Джибор, 1972)

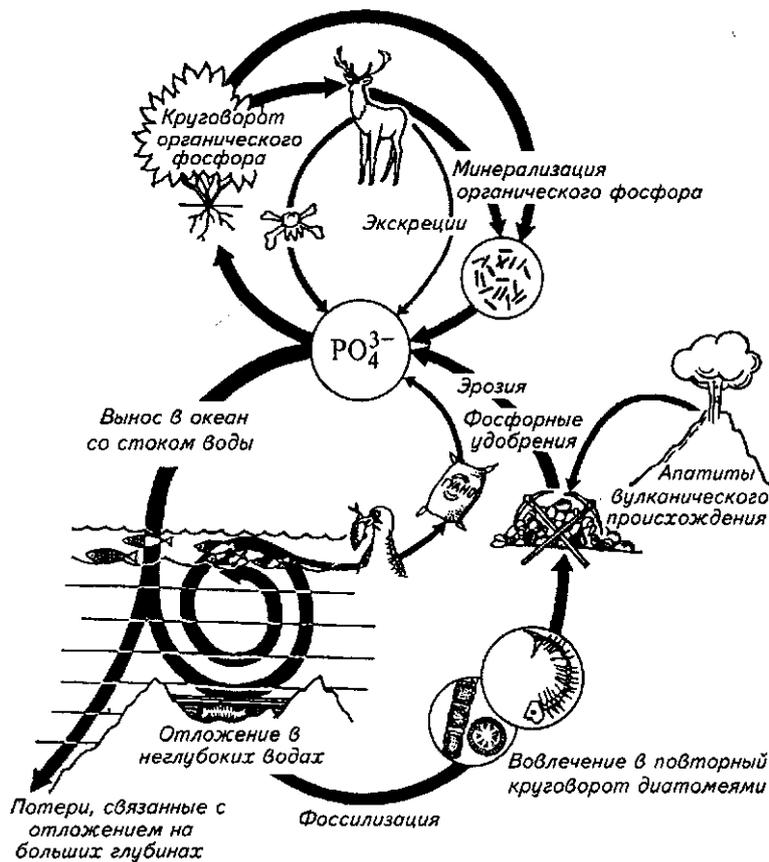


Рис. 4.12. Круговорот фосфора в биосфере (Дювиньо, Танг, 1968)

продуцирование этого газа всей фитосферой составляет 240 млрд т.

Круговорот фосфора (рис. 4.12). Геохимический цикл фосфора существенно отличается от циклов углерода и азота. Кларк* этого элемента в земной коре равен 0,093 %, что в несколько десятков раз больше кларка азота. Однако в отличие от последнего фосфор не играет роли одного из главных элементов оболочки Земли. Тем не менее геохимический цикл фосфора включает разнообразные пути миграции в земной коре, интенсивный биологический круговорот и миграцию в гидросфере. Фосфор — один из главных органогенных элементов. Его органические соединения играют важную роль в процессах

*Кларк — числовая оценка среднего содержания химического элемента в земной коре, различных породах, гидросфере, в атмосфере, на Земле в целом или отдельной территории.

жизнедеятельности всех растений и животных, входят в состав нуклеиновых кислот, сложных белков, фосфолипидов мембран, являются основой биоэнергетических процессов. Фосфор концентрируется живым веществом, где его содержание почти в 10 раз выше, чем в земной коре. На суше протекает интенсивный круговорот фосфора в системе почва—растения—животные—почва. Поскольку минеральные соединения фосфора труднорастворимы и содержащийся в них элемент почти недоступен растениям, последние используют преимущественно его легкорастворимые формы, образующиеся при разложении органических остатков. Круговорот фосфора происходит и в системе суша—Мировой океан. Фосфаты выносятся с речным стоком, взаимодействуют с кальцием; образуются фосфориты, залежи которых со временем выходят на

поверхность и снова включаются в миграционные процессы. Считается, что в Мировой океан ежегодно выносится $1,4 \cdot 10^7$ т фосфора, а возвращается обратно на сушу (в основном с продуктами морского промысла) порядка 10^3 т. Очевидно, проблема дефицита фосфорного питания — это проблема как естественных экосистем, так и агроценозов.

Круговорот серы (рис. 4.13). В биосфере сформировался достаточно развитый процесс циклических преобразований серы и ее соединений. Выделяются резервные фонды этого элемента в почве и отложениях (довольно обширные), а также в атмосфере (небольшие). В обменном фонде серы основная роль принадлежит специализированным микроорганизмам, одни виды которых выполняют реакцию окисления, другие — восстановления. Обращает на себя внимание также микробная регенерация серы из глубоководных отложений. В результате к поверхности перемещается сероводород (H_2S). Схема дает представление о взаимодействии геохимических и метеорологических процессов (эрозия, осадкообразование, выщелачивание, дождь, адсорбция, десорбция и др.), о биологических процессах (продукция биомассы и ее разложение), о взаимосвязи воздуха, воды и почвы в регуляции глобального круговорота серы. Аналогично нитрату и

фосфору сульфат (SO_4^{2-}) является основной доступной формой серы, восстанавливаемой автотрофами и включаемой в белки, поскольку сера входит в состав некоторых аминокислот.

На круговоротах азота и серы все больше сказывается промышленное загрязнение воздуха. Сжигание ископаемого топлива существенно увеличивает поступление в атмосферу (и, разумеется, содержание в ней) летучих окислов азота (NO и NO_2) и серы (SO_2), особенно в городах. Нынешняя концентрация этих ингредиентов уже становится опасной для биотических компонентов экосистем.

Круговорот калия. Геохимический цикл данного элемента включает разнообразные процессы, происходящие в первую очередь в земной коре. При выветривании и кристаллохимических превращениях силикатов высвобождаются ионы калия, которые сразу же поглощаются растениями, дающими начало биологическому круговороту этого элемента. Калий, как известно, принимает участие в процессах фотосинтеза, оказывает влияние на углеводный, азотный и фосфорный обмен, существенным образом сказывается на осмотических свойствах клеток. Он концентрируется в плодах и семенах, в интенсивно растущих тканях и органах растений. Биогенная миграция калия

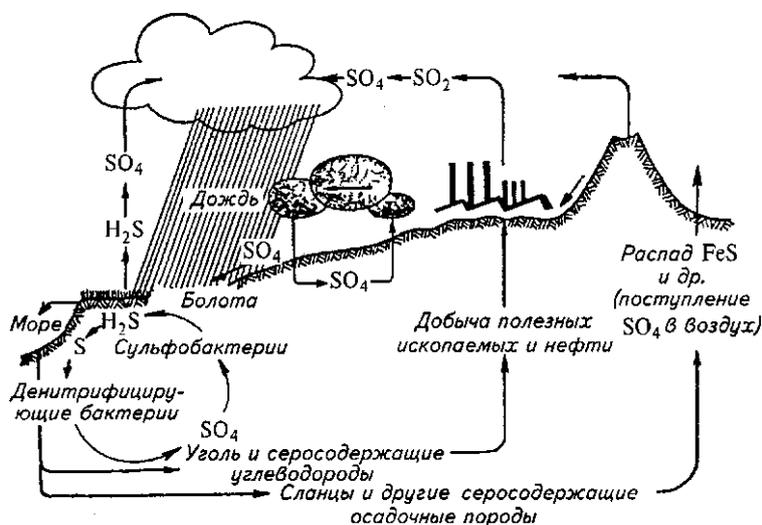


Рис. 4.13. Круговорот серы в биосфере (Рамад, 1981)

очень велика, поскольку в живых организмах он содержится в ионной форме и практически не образует соединений с органическими веществами. При отмирании организмов калий быстро переходит в среду и снова активно вовлекается живым веществом суши в круговорот.

Пока что малоизученным остается круговорот калия в водной среде. Каждый год с водным стоком в Мировой океан поступает около 90 млн т этого элемента. Какая-то часть поглощается водными организмами, но значительное количество нигде не фиксируется, и последующее его перемещение неизвестно.

Рассмотренные биогеохимические круговороты химических элементов, движущей силой которых является деятельность живого вещества, охватывают многокилометровую толщу земной коры.

Важной составной частью круговоротов является ионный и твердый сток. Круговорот химических элементов проходит, как правило, сразу в нескольких сопредельных оболочках Земли (атмосфере и гидросфере, гидросфере и педосфере*) либо во всех трех геосферах одновременно. Надежность и постоянство осуществления круговоротов обеспечиваются регулярным обменом веществ и энергией между геосферами. Такого рода направленная связь наглядно проявляется на примере ионного стока, представляющего собой процесс выноса реками с суши химических элементов в ионном растворенном состоянии в Мировой океан. Поступившие в ионной форме химические элементы, как и на суше, в водной среде подвергаются воздействию живых организмов, продолжая круговорот. Миграция химических элементов в растворенном состоянии представляет собой гигантский планетарный процесс. Все реки мира в течение года выносят в моря и океаны 37 тыс. км^3 , или $37 \cdot 10^{15} \text{ л}$ воды. Согласно данным американского гидрохимика Д. Ливингстона, средняя минерализация, т. е. сумма растворимых соединений, в речных водах равна 120 мг/л. Следовательно, на протяжении года реки выносят со всей суши 4,4 млрд т растворимых соединений.

*Педосфера — почвенный покров планеты.

Речные воды ежегодно выносят: кальция — 481 млн т, натрия — 166 млн, магния — 122 млн, калия — 55 млн т; мигрируют анионы: хлора — 236 млн т, сульфат-иона — 444 млн, нитрат-иона — 37 млн т. Весьма значительна масса мигрирующего кремния (212 млн т).

В большом количестве мигрируют металлы. Особенно много выносится железа — более 20 млн т в год. Годовой вынос цинка составляет 740 тыс. т, меди — 260 тыс., никеля — 74 тыс., свинца — 37 тыс. т.

С каждого квадратного километра суши выносится около 32 т растворимых веществ в год. В разных реках под влиянием неодинаковых природных условий количество растворимых соединений в воде различно. Например, территория Европы теряет в год растворимого вещества почти в 2 раза меньше, чем вся территория Африки. Но это связано с тем, что площадь Африки в 3 раза больше площади Европы. Если же рассчитать показатель ионного стока, т. е. выявить, сколько водорастворимых веществ выносится с каждого квадратного километра, то окажется, что водная миграция в Европе происходит значительно интенсивнее ($25,7 \text{ т/км}^2$), чем в Африке ($15,5 \text{ т/км}^2$).

Твердое вещество поверхности Земли не остается неподвижным. Оно также участвует в миграции, перемещаясь поверхностными водами суши. Поверхностные воды наряду с элементами, мигрирующими в растворенном состоянии или с коллоидными частицами, переносят огромные массы обломков горных пород и минералов, называемые твердым стоком (по аналогии со стоком воды). Значительная часть твердого стока перемещается в пределах суши, но и объемы, попадающие в моря, достаточно велики. В Мировой океан с континентов поступает каждый год 22,13 млрд т обломочного и глинистого материала, что примерно в 7 раз превышает количество выносимых растворенных веществ (В. В. Добровольский, 1980).

Нельзя, разумеется, упускать из виду и все возрастающую миграцию химических элементов, обусловленную антропогенными факторами, в частности активной агрохимической деятельнос-

тью человека. Так, ежегодно в результате уборки только зерновых культур люди вовлекают в искусственную миграцию не менее 48 млн т азота, 36 млн т калия, 12 млн т оксида фосфора. С учетом всех сельскохозяйственных культур эти количества будут гораздо больше (в 30-х гг. со сбором годового урожая во всем мире с полей удалялось по 25 млн т азота и калия, а также около 8 млн т оксида фосфора).

Биохимические функции биосферы многообразны, но это многообразие имеет единую сущность: в своем глобальном, космическом проявлении «сфера жизни» выступает как гигантский аккумулятор и уникальный трансформатор энергии Солнца. Благодаря биосфере — приемнику солнечного и космического излучений — на всей нашей планете осуществляется активная связь Земли с космосом. Благодаря же геохимической работе живого вещества, прежде всего зеленых растений, осуществляющих процесс фотосинтеза, меняется весь облик Земли.

Преобразуя космическую (главным образом солнечную) энергию в свободную земную (химическую, механическую, тепловую, электрическую и пр.), живое вещество постоянно нарушает то относительное химическое спокойствие, которое присуще поверхности планеты самой по себе. Количество солнечной энергии, аккумулируемой живым веществом, колоссально: ежегодно в процессе фотосинтеза растения связывают $7,178 \cdot 10^{18}$ кДж энергии.

Сущность первого принципа функционирования биосферы заключается в обеспечении ресурсами питания и утилизации отходов благодаря круговороту биогенов. С первым принципом связаны и два последующих. Суть второго принципа: экологические системы на планете Земля существуют за счет солнечной энергии, которая при сложившемся эволюционно-естественном использовании не оказывает загрязняющего влияния на природную среду. Третий принцип функционирования биосферы гласит: чем больше биомасса популяции консумента, тем труднее ей конкурировать за выживание на более высоком трофическом уровне. Это обусловлено тем, что значительная

часть потребленной консументами на питание биомассы, а с ней и энергии, не усваиваясь, возвращается в виде экскрементов во внешнюю среду, а усвоенная пища идет большей частью на выработку энергии, а не на синтез новой биомассы.

4.4. БИОТЕХНОСФЕРА И НООСФЕРА

Своеобразие биогеохимических циклов миграции. Биосфера — не только идеально организованная система, но и своеобразный «механизм», в котором связь и соотношение между живым и косным веществом подчиняются строгим закономерностям, таким же непреложным, как законы движения небесных светил. Геохимически эти функции жизни осуществляются благодаря размножению организмов. Материально-энергетический «напор жизни» на среду подобен напору газа. Живое вещество преодолевает сопротивление среды, стремится занять максимальный объем, распространиться на свободную территорию.

Скорость размножения — это скорость передачи в биосфере геохимической энергии. Она зависит не только от астрономических параметров, но и от скорости распространения солнечного луча в среде, от размеров организмов, от заключенной в них геохимической энергии. Постоянство темпа размножения живого вещества обусловило большую устойчивость всех химических реакций земной коры. Изменение этой устойчивости, т. е. нарушение биологических циклов, означало бы и нарушение всех веками установившихся циклов химических превращений на Земле. У различных биологических видов количество присущей им энергии различно и является важнейшим видовым признаком.

Еще более существенная особенность живого вещества — его отличие от «косной» среды по пространственным и временным характеристикам. Живому веществу соответствуют особые, только ему присущие пространство и время. Поскольку в живом веществе время и пространство неразрывны, то жизненное (биологическое) время проявляется

в трех процессах: во время индивидуального бытия, в смене поколений без изменения форм жизни, в эволюционном процессе, меняющем форму организмов одновременно со сменой поколений.

Время индивидуального бытия живых организмов связано с неуклонно идущим процессом старения и смертью, имеющими положительное значение для эволюционного процесса, поскольку недолговечность живых существ обеспечивает не только длительный и непрерывный круговорот биогенного материала, но и значительную изменчивость морфологических форм.

С другой стороны, поскольку минералы, образующиеся при участии живого вещества, одинаковы с архейского периода до настоящего времени, то жизнь, следовательно, менялась лишь морфологически, оставаясь достаточно постоянной по своим биогеохимическим функциям. Жизнь уходит в такую глубь геологических веков, что даже лежащая ниже метаморфической геосферы гранитная оболочка планеты целиком, по убеждению В. И. Вернадского, относится к области былых биосфер.

Поступающая на Землю солнечная энергия, как уже отмечалось, имеет низкий коэффициент использования. В процессе фотосинтеза 1 т органического вещества растениями усваивается 15910,6 тыс. кДж энергии и расходуется 2 т диоксида углерода, 250...400 кг минеральных веществ и 500...1000 т воды. Это, разумеется, большие затраты. Кроме того, велики потери энергии при переходе от одного трофического уровня к другому. Например, коэффициент использования энергии животными-фитофагами составляет в среднем 5...10% энергии усваиваемой ими фитомассы (с колебаниями от 2% у млекопитающих до 30% у насекомых).

Естественно, что процесс возвращения воды и питательных веществ в круговорот (рециркуляция) имеет для человечества жизненно важное значение. Выделяют пять основных путей возврата веществ в круговорот: 1) через микробное разложение в детритный комплекс; 2) через экскременты животных (например, в экотипах, где животные активно выедают траву и фитопланк-

тон); 3) прямая передача от растения к растению микроорганизмами-симбионтами; 4) в результате физических процессов, в том числе прямого действия солнечной энергии (например, элементы осадочных пород выносятся из абиотического резервуара и попадают в биотические циклы); 5) за счет энергии топлива (например, при промышленной фиксации азота).

Можно сравнивать размеры возврата веществ в круговорот для разных компонентов биосферы, используя коэффициент рециркуляции Финна (1976):

$$C_l = \frac{TST_c}{TST},$$

где C_l —коэффициент рециркуляции; TST_c — рециркулируемая доля потока вещества через систему; TST — общий поток вещества через систему.

Чем выше уровень иерархии, занимаемой экосистемой, тем меньше потери веществ (совершеннее замкнутость), которые достигают минимума в биосфере. Разрушение стройной иерархической взаимозависимости отдельных слагаемых циркуляции веществ (биогеоценозов) в биологическом круговороте и потоков энергии в биосфере — одна из главных причин возможного серьезного экологического неблагополучия.

Воздействие человека на биосферу. Переход от собирательства к охоте, далее к земледелию и скотоводству явился началом аграрной революции, вызвавшей глубокие изменения природной среды в результате использования энергии животных, воды и огня. Лесные и степные естественные экосистемы искусственно стали превращаться в агроэкосистемы. Развитие земледелия (орошаемого и богарного) и животноводства привело в движение ранее отсутствовавший фактор воздействия на биосферу — антропогенный.

С ростом масштабов использования природных ресурсов, обусловленных промышленной революцией, антропогенное влияние на биосферу и ее компоненты объективно увеличивается. Закономерный и многосторонний процесс роста производительных сил существеннейшим образом расширил спектр воздействия человека на природу (в том числе и негативного). Еще в 40-х гг.

XXв. В.И.Вернадский отмечал, что производственная деятельность человека приобретает масштабы, сравнимые с геологическими преобразованиями. Так, к сведению лесов, распашке целинных земель, эрозии и засолению почв, снижению биоразнообразия добавились новые постоянно действующие механические и физико-химические факторы, усугубляющие экологический риск.

Согласно различным оценкам, человек эксплуатирует уже более 55 % суши, использует около 13 % речных вод, скорость сведения лесов достигает 18 млн га в год. В результате горных и строительных работ, опустынивания и засоления ежегодно утрачивается от 50 до 70 тыс. км² земель. При строительстве и горных работах перемещается более 4 тыс. км породы в год. Из недр Земли ежегодно извлекают 100 млрд т руды, сжигают 7 млрд т условного топлива, выплавляют более 800 млн т различных металлов, вносят свыше 500 млн т минеральных удобрений и более 4 млн т химических средств защиты растений, около трети которых уносится поверхностными стоками в водоемы или задерживается в атмосфере. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в различных производственных и бытовых целях используется до 500 тыс. химических соединений, из которых около 40 тыс. обладают вредными для человека свойствами, а 12 тыс. токсичны и т. д.

Становится ясно, что путь технологической цивилизации, по которому человечество уверенно шагало последние четыре века, ведет к тупиковой ситуации.

Воздействие на биосферу сводится к четырем главным формам:

изменение структуры земной поверхности (распашка степей, вырубка лесов, мелиорация, создание искусственных озер и морей, другие изменения режима поверхностных вод и т. д.);

изменения состава биосферы, круговорота и баланса слагающих ее веществ (изъятие полезных ископаемых, образование отвалов, выброс различных веществ в атмосферу и в водные объекты, изменение влагооборота);

изменение энергетического, в част-

ности теплового, баланса отдельных районов земного шара, опасное для всей планеты;

изменения, вносимые в биоту (совокупность живых организмов) в результате истребления некоторых видов, создания новых пород животных и сортов растений, перемещения их на новые места обитания.

Рассматривая роль человека в эволюции биосферы, В. Л. Лапин, А. Г. Мартинсен и В. М. Попов (1996) таким образом характеризуют нарушение человеком основных принципов естественного устройства биосферы.

1. Аккумулируя энергию в виде сложных органических соединений и рассеивая ее в виде тепла, природа создала эволюционно сложившийся тепловой баланс, который человек нарушает. Если автотрофные растения, с которых начинается трансформация солнечной энергии в живое вещество, преобразуют ее из рассеянного состояния в концентрированное, синтезируя органическое вещество, в том числе и из запасников природы, то человек сжигает его, переводя энергию из концентрированного в рассеянное состояние. При добыче энергоресурсов человек разрушает почвы, гибнет или деградирует растительный покров, загрязняются водные объекты и атмосфера, формируются отвалы пород, что приводит, в частности, к подъему уровня грунтовых вод и появлению в окружающей местности контурного кольца из озер, болот и т. д.

2. Биогеохимические циклы биогенных элементов, участвующих в природных круговоротах, отработаны эволюционно и не приводят к накоплению отходов. Человек же использует вещество планеты крайне неэффективно; при этом образуется огромное количество отходов, многие из которых переводятся из пассивной формы, в которой они находились в природной среде, в активную, токсичную форму. В сферу хозяйственной деятельности вовлечены практически все химические элементы, а также огромное количество синтезированных человеком соединений. В результате биосфера «обогащается» несвойственными ей соединениями, т. е. нарушается естественное соотношение химических элементов и веществ. Для

сравнительной оценки на рисунке 4.14 представлены упрощенные схемы круговоротов веществ в природе и хозяйственной деятельности человека. Анализ схем подтверждает исключительно экономное использование вещества биосферы в природе. Человек же «копирует» природные круговороты с точностью до наоборот. Лишь 1...2 % первичного сырья используется в круговоротах, а 98...99 % уходит в отходы.

3. При огромном многообразии видов конкурентные и хищнические отношения между ними способствуют установлению биологического равновесия. Исчезновение любого из видов — это не только безвозвратная потеря природного генофонда, но и снижение устойчивости отдельных экосистем и биосферы в целом как огромной и чрезвычайно сложной экосистемы. Путь человечества, к сожалению, отмечен гибелью многих представителей флоры и фауны. По некоторым данным, на Земле исчезает ежедневно один биологический вид.

4. Деятельность людей привела к нарушению популяционной стабильности. Растет количество сопутствующих человеку видов (крыс, тараканов и т. д.), а численность многих других популяций, напротив, сокращается, причем иногда в катастрофических размерах, что ставит вид под угрозу полного исчезновения.

5. Расширяя хозяйственную деятельность, люди в короткие сроки меняют параметры экологических факторов; многие виды не успевают приспособиться к таким быстрым изменениям. Хозяйственная деятельность человека приобретает такие масштабы, когда нарушаются все основные принципы естественного устройства биосферы: энергетический баланс, сложившийся круговорот веществ, многообразие видов и биологических сообществ, популяционная стабильность и приспособленность живых организмов к среде обитания.

Влияние человека на биосферу отражено на рисунке 4.15. Значительный интерес для понимания причинно-следственных связей, осмысления возможных последствий антропогенных воздействий на биосферу представляет содержательная схема, разработанная Ю. А. Израэлем (1984), приведенная в таблице 4.2.

Комплекс антропогенных факторов, влияющих на состояние биосферы, на здоровье населения, исключительно разнообразен. Антропогенные воздействия обуславливают изменения основных элементов биосферы, многие геофизические и экологические нарушения, что в конечном итоге непосредственно или опосредованно сказывается на здоровье и благосостоянии на-

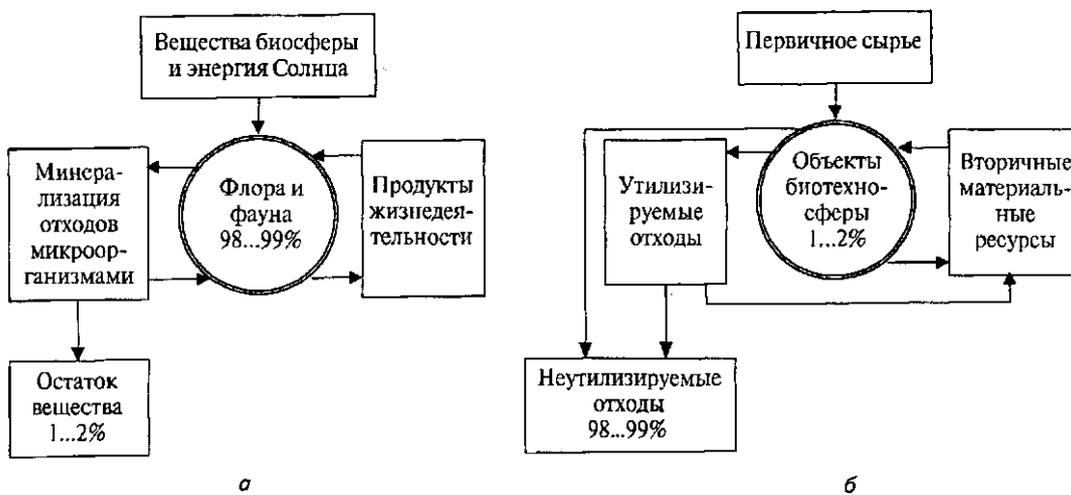


Рис. 4.14. Упрощенные схемы круговорота веществ:

а — в природе; б — в хозяйственной деятельности человека (Лапин и др., 1996)

со

4.2. Влияние антропогенных факторов на биосферу, здоровье и благосостояние населения (Израэль, 1979)

I. Антропогенные факторы	Биосфера			Человек	
	II. Изменение свойств основных элементов биосферы	III. Геофизические и геохимические последствия и эффекты	IV. Экологические и биологические последствия, нарушения экосистем	V. Влияние на здоровье и благосостояние людей	VI. Социальные последствия
1. Выброс в биосферу химически и физически активных веществ	1. Изменение состава и свойств атмосферы (загрязнение, электропроводность, радиационные свойства)	1. Крупномасштабные изменения циркуляции в атмосфере и океане	1. Изменение земных и водных экосистем, нарушение их устойчивости	1. Ухудшение работоспособности	1. Изменение производства продовольствия, недоедание, голод
2. Выброс в биосферу инертного материала (аэрозольных частиц и т. п.)	2. Изменение состава и свойств вод суши (загрязнение, минерализация)	2. Изменение погоды и климата	2. Изменение экосистем океана (структурные упрощения и др.)	2. Эстетический ущерб, ухудшение настроения	2. Изменение структуры энергопотребления
3. Прямой нагрев биосферы	3. Изменение состава и свойств вод Мирового океана (загрязнение и ДР-)	3. Перераспределение и изменение возобновимых небиологических ресурсов — водных, климатических	3. Генетические эффекты, перерождение	3. Болезни, возникновение стрессового состояния	3. Изменение экономики
4. Физическое (механическое) воздействие, ведущее к изменению поверхности суши и растительного покрова (эрозия, вспашка, урбанизация, пожары)	4. Изменение состояния биоты как биогеофизической среды	4. Нарушение озонового слоя, ионосферы (изменение прохождения ультрафиолетового излучения, радиоволн)	4. Исчезновение существующих видов, появление новых	4. Генетические эффекты	4. Ущерб благосостоянию, возможность нарушения развития общества
5. Биологическое воздействие (развитие агроценозов, интродукция биологических видов и т. д.)	5. Изменение литосферы (механические нарушения, накопление отходов и др.)	5. Изменение прозрачности атмосферы, прохождения солнечного излучения	5. Падение биопродуктивности, уменьшение коэффициента размножения и численности популяций, деградация лесов, опустынивание (биологический аспект)	5. Изменение продолжительности жизни	
6. Изъятие и уничтожение ресурсов (невозобновимых и возобновимых)	6. Изменение криосферы	6. Эрозия земной поверхности, изменение альbedo земной поверхности	6. Деградация почв, опустынивание	6. Уменьшение темпов роста населения	
7. Антропогенные упорядоченные потоки вещества (транспортные)	7. Изменение свойств поверхности суши и почвы (целостности, кислотности, радиационных характеристик)	7. Нарушение естественных геохимических циклов, кругооборота различных элементов	7. Изменение способности биосферы к воспроизводству возобновимых ресурсов, истощение невозобновимых ресурсов	7. Уменьшение численности населения в различных масштабах	
	8. Изменение геофизических свойств крупных систем: климатической, биосферы в целом		8. Изменение эволюции биосферы		

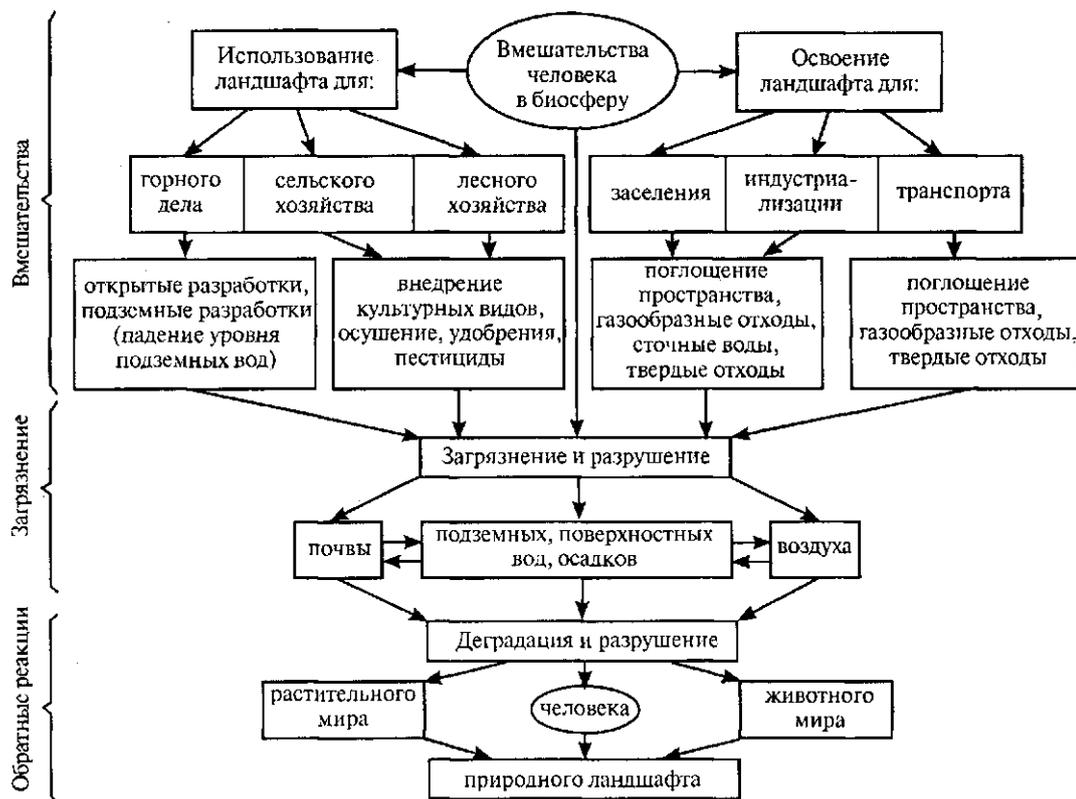


Рис. 4.15. Виды вмешательства человека в биосферу (из словаря-справочника «Окружающая среда», 1993)

селения, несет с собой определенные социальные последствия. Действие каждого из факторов (или группы) может стать причиной различных последствий. Некоторые из последствий, перечисленных в таблице, сами могут вызывать дальнейшие последствия, выступая, в свою очередь, в качестве антропогенных факторов воздействия. Такого рода влияния, разумеется, могут сопровождаться взаимоусиливающимися эффектами. Например, выброс в биосферу хлорфторуглеродов и N_2O считается одной из причин разрушения озонового слоя и изменения прохождения ультрафиолетового излучения, что может привести к возникновению некоторых заболеваний и т. д. (колонка I, позиция 1 —> колонка III, позиция 4 —> колонка V, позиция 3). Физическое (механическое) воздействие в северных районах добычи нефти и газа обусловило изменение земных и водных экосис-

тем, нарушение их устойчивости, падение биопродуктивности, что существенно усложнило для коренных народов Севера возможность заниматься традиционными промыслами (оленоводство, охота, рыболовство). События в данном случае развиваются по цепочке: колонка I, позиция 4 —> колонка II, позиции 4, 5 и 7 —> колонка IV, позиции 1, 5 и 6 —> колонка VI, позиция 4.

Те или иные «события» в биосфере, вызванные антропогенными факторами, развиваются по принципу цепной реакции. Данное обстоятельство важно учитывать при решении задач, направленных на оптимизацию взаимодействия человека и природы, при выработке, принятии и осуществлении соответствующих управленческих решений.

Биотехносфера. Представления об изменениях в биосфере можно оценить, сопоставляя антропогенные факторы с

природными тенденциями в биосфере (Ковда, 1985):

Живое вещество планеты, т/год	
Биомасса, т/год:	# 10^{13}
суши	$n \cdot 10^{12}$
лесов	$n \cdot 10^{11}$
трав	$= 10^{10}$
сельскохозяйственных растений	$= 10^{8..9}$
людей и сельскохозяйственных животных	$47 \cdot 10^3$
Годичный сток рек, км ³	$= 3 \cdot 10^3$
Потребление воды, км ³	$= 9 \cdot 10^3$
Твердый сток рек, т/год:	
в прошлом	$= 9 \cdot 10^3$
в настоящем	$= 24 \cdot 10^9$
в будущем	$= (40..50) \cdot 10^9$
Годичный оборот биофилов, т	$= n \cdot 10^{10}$
Химический сток рек, т/год	$= 3 \cdot 10^9$
Оборот углерода в биомассе суши, годы	$= 300..400$ (до 1000)
Поступление антропогенного CO ₂ , т/год	$= (15..20) \cdot 10^9$
Распаханность под сельское хозяйство, га	$= 1,5 \cdot 10^9$
Пастбища, га	$= 3,0 \cdot 10^9$
Годичное производство удобрений, т	$= 5 \cdot 10^8$
Пыль индустриальная, т/год	$= 0,25 \cdot 10^9$
Мусор, отходы, отбросы, т/год	$= 20 \cdot 10^9$
Выемка рудных пород, т/год	$= 5 \cdot 10^9$
Индустриальные и городские сбросные воды, м ³ /год	До $55 \cdot 10^{11}$
Аэрозоли и газовые выбросы, т/год	До $n \cdot 10^9$

С одной стороны, процесс человеческой деятельности как бы расширил границы биосферы в глубины земной коры и океана, в высоты стратосферы и космоса. С другой стороны, прослеживается снижение биосферной активности и массы живого вещества. Под действием человека на поверхности Земли в границах первичной биосферы сформировалось новое состояние природы, которое Г. Ф. Хильми назвал биотехносферой. *Биотехносфера* (техносфера, технобиосфера) — это область нашей планеты, в которой существуют живое вещество и созданные человеком урбано-технические объекты и где проявляются их взаимодействие и влияние на внешнюю среду. В отличие от биосферы биотехносфера — не самоуправляющаяся организованная система, а сложный конгломерат многих подсистем, которыми управляет человек. Эти подсистемы не аккумулируют, а расходуют энергию, биомассу и кислород биосферы. Возникновение множества подсистем и систем биотехносферы усложнило

биосферу. По оценкам В. А. Ковды, на огромной площади (до 25...30 % суши) природные экосистемы полностью замещены техногенными системами. Однако организованного взаимодействия между первичной биосферой и биотехносферой добиться пока что не удалось.

Биотехносфера и составляющие ее техногенные подсистемы расположены в биосфере, но они не обладают большинством свойств и функций, которые присущи природным экосистемам. Будучи гетеротрофными, техногенные функциональные образования могут существовать лишь при использовании энергии и биомассы, накапливаемых автотрофными системами биосферы. Именно по этой причине техногенные системы разрушают биосферные автотрофные экосистемы, замещая их в пространстве.

В процессе функционирования биотехносферы имеет место разрыв циклов, существующих в первичной биосфере, проявляющийся прежде всего в том, что изъятые из окружающей среды некоторые вещества биотического происхождения не возвращаются в природу в пригодном для включения в естественный биотический круговорот виде. Тем самым стимулируется нарастающее обеднение природной среды веществами, которые необходимы для постоянного самовозобновления живого вещества. Живое вещество биосферы обладает свойством экологического самообеспечения; живое вещество биосферы и изменяемая им среда характеризуются взаимосовместимостью, которая отсутствует у компонентов биотехносферы. Единственный принципиальный путь оптимизации круговорота веществ и потоков энергии в биотехносфере — это путь, выработанный самой природой, которая осуществляет взаимосовместимость живого вещества с окружающей его средой.

Пока существует человечество, биотехносфера будет развиваться. Но одно должно оставаться неизменным — на всех этапах развития биотехносфера должна пребывать в состоянии экологического самообеспечения, согласованного с законами природы и удовлетворяющего нуждам человеческого общества. При этом общество должно целенаправленно и разумно воздействовать на силы природы.

Рассматривая в контексте современных представлений о природных круговоротах веществ и потоках энергии идею С. А. Подолинского, Ф. Энгельса о роли труда, жизнедеятельности человека в поглощении и преобразовании солнечной энергии, А. И. Игнатов и С. И. Исаев («Диалектика живой природы», 1984) назвали основные функции общественного производства, которые реализуются в биотехносфере.

1. Человек возделывает растения, повышает селекционными и агрономическими средствами их способность аккумулировать солнечную энергию, увеличивает продуктивность фитоценозов, осваивает бесплодные земли и таким образом в первом звене биотического круговорота выполняет автотрофную функцию.

2. Посредством общественного потребления продуктов, животноводческого цеха сельского хозяйства, перерабатывающей промышленности, рационального ведения охотничьего и рыбного хозяйства (т. е. путем удлинения пищевых цепей и увеличения количества функционирующего в них живого вещества) человек расширяет гетеротрофное звено биотического круговорота вещества и потока энергии.

3. Обрабатывая почву (что активизирует разложение органического вещества), перерабатывая продукты растениеводства, утилизируя бытовые и хозяйственные отходы, человек выполняет роль деструктора органических веществ.

4. Посредством обработки почвы, горнодобывающей и химической промышленности человек берет на себя функции физико-химического и биотического выветривания, являющегося необходимой основой почвообразования и биотического круговорота.

5. Увеличиваются объемы вовлекаемой в производство солнечной энергии, «законсервированной» в каменном угле, нефти, сланцах, торфе, древесине, а также преобразованной в энергию воды и воздуха; используется атомная энергия. Это позволяет говорить не только о космической, но и о субстратно-энергетической роли человека в осуществлении природных круговоротов.

Задача заключается в том, чтобы с помощью труда соединить в единое це-

лое рассмотренные функции общественного производства в природных круговоротах.

Прогрессирующий процесс освоения природно-ресурсного потенциала биосферы закономерен и неизбежен. Он не может прекратиться, ибо осуществляется как в силу действия законов природы, так и в силу законов общественного развития. Однако достижения научнотехнического прогресса носят противоречивый характер. Двойственность эта прежде всего проявляется в том, что расширяются возможности использования сил природы, а вместе с тем усиливается отрицательное влияние на биосферу и биосферные процессы. Чтобы человеческая популяция сохранилась в условиях возможных биосферных изменений, вызванных антропогенным давлением, а не исчезла, как исчезают многие виды живых организмов, человечеству необходимо сформировать для себя новую экологическую нишу. Процесс управления биосферными явлениями должен содержать три этапа: формирование целей управления, формирование программы достижения целей управления, создание механизмов обратной связи, препятствующих проявлению случайных и непредвиденных внешних воздействий. Какой же видится эта новая экологическая ниша человечества?

Ноосфера. За год до смерти В. И. Вернадский написал статью «Несколько слов о ноосфере», в которой приводятся доказательства, что разумная деятельность человека — не только его «внутреннее» дело. Биосфера переходит в новую стадию — ноосферу (буквально «мыслящая оболочка», «сфера разума»), для которой характерна тесная взаимосвязь законов природы с законами мышления и социально-экономическими законами.

Термин «ноосфера» впервые появился в 1926—1927 гг. в статьях французских ученых П.Тейяра де Шардена и Э. Леруа, написанных после того, как они в начале 20-х гг. прослушали в Сорбонне курс лекций В. И. Вернадского по проблеме гео- и биогеохимии. Сам В. И. Вернадский начал использовать этот термин позднее (лишь в 30-х гг.), причем ноосфера у него — не отвлеченное царство разума, а исторически не-

избежная стадия развития биосферы. Еще в 1926 г. в статье «Мысли о современном знании истории знаний» он писал о том, что созданная в течение всего геологического времени, установившаяся в своих равновесиях биосфера начинает все сильнее и глубже меняться под воздействием научной мысли человечества. По замечанию академика А.Л.Яншина (1988), именно эту биосферу Земли, измененную научной мыслью и преобразованную для удовлетворения всех потребностей численно растущего человечества, ученый и назвал впоследствии «ноосферой». По мнению А. Л. Яншина, в энциклопедиях, справочниках, популярной литературе появилось много определений ноосферы, не соответствующих взглядам автора учения о биосфере.

Ноосфера — высшая стадия развития биосферы, характеризующаяся сохранением всех естественных закономерностей, присущих биосфере (при высоком уровне развития производительных сил, научной организации воздействия общества на природу), максимальными возможностями общества удовлетворять материальные и культурные потребности человека. В контексте ноосферного учения геохимические функции человечества характеризуются не его массой, а его производственной деятельностью. Темп, направление, характер использования биогеохимической энергии должны определяться не потребностями, а Разумом человека.

Ноосфера — это не просто общество, существующее в определенной среде, и не просто природная среда, подвергающаяся сильному воздействию общества, а нечто целое, в котором сливаются развивающееся общество и изменяемая природа (природная среда). Возникает совершенно новый объект, в котором переплетаются законы живой и неживой природы, общества и мышления.

Ноосфера — это новое состояние биосферы, основанное на универсальной связи природы и общества, когда дальнейшая эволюция планеты Земля делается направляемой разумом.

Анализируя концептуальные положения о ноосфере, А.Л.Яншин (1988) обращает внимание на сформулированные В. И. Вернадским более полу-

века назад основные предпосылки ее создания:

человечество стало единой силой, его история охватила весь земной шар;

преобразовались средства связи и обмена, что обеспечило возможность постоянного материального и информационного обмена между всеми составляющими ноосферу;

были открыты новые источники энергии;

ноосферу создают разум и труд народных масс, поэтому особенно важен подъем благосостояния трудящихся;

охватывая планету как единое целое, ноосфера по самому своему существу не может быть привилегией какой-либо нации или расы, она — дело рук и разума всех народов без исключения;

только уничтожение угрозы войны позволит человечеству сделать крупный шаг к созданию ноосферы.

Приходится, увы, признать, что и сегодня, много лет спустя, эти предпосылки все еще далеки от реализации...

В последние годы серьезное внимание вопросам формирования ноосферы уделяет специалист по биосферным проблемам академик Н. Н. Моисеев. Необходимость перевода биосферы в ноосферу он рассматривает в качестве гаранта выживания современного человека. Однако «коренная перестройка» возможна при обязательном сохранении биосферы. В связи с этим ноосфера представляется как более высокая ступень целенаправленного развития биосферы.

Переход к ноосфере — это непростой и небыстрый процесс выработки принципов согласованных действий, нового поведения людей, смена стандартов, перестройка всего бытия. Для осуществления коэволюции человечество уже сейчас должно приступить к разумному регулированию своей численности и существенно снизить негативное давление на природу, а в последующем разработать глубоко обоснованные технологии построения ноосферы на базе сохранения биосферы как обязательного условия жизни. Немаловажный вклад в создание ноосферы должна внести коренная перестройка агроэкосистем на основе принципов экологического земледелия.

4.5. ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

Возникновение биосферы. Впервые проблема возникновения биосферы была поставлена В. И. Вернадским, который рассматривал биосферу и ее системы как результат исторически длительного процесса действия живого на неживое, подчеркивая первостепенную роль живого вещества в изменении лика Земли. Биологические, а не физико-химические и геологические закономерности определяют темпы и формы трансформации вещества и энергии на нашей планете. При этом, конечно же, нельзя упускать из виду и действие абиогенных факторов (перемещение материков, трансгрессии и регрессии моря, тектоническая деятельность и др.). До появления работ В. И. Вернадского обсуждался достаточно узкий вопрос: как возникли и развивались организмы. Между тем организмы, как известно, неотделимы от абиотической среды. Рассматривать следует происхождение не только организмов, но и биосферы в целом. Согласно Ю. А. Борщевскому, Земля в первые периоды существования была безжизненной — стерильной. Однако предпосылки к возникновению жизни, образованию биосферы, почвенного покрова были унаследованы Землей от космического вещества. Уже в газопылевом облаке, предшествовавшем образованию Земли, присутствовали высокомолекулярные органические соединения, послужившие источником диоксида углерода и соединений азота в атмосфере, а в последующем — и основой возникновения

жизни. Небезынтересно, что в элементарном составе космического вещества, по данным Г. В. Войткевича, преобладают биофильные элементы — водород, кислород, углерод, азот, а также в заметных количествах содержатся кремний, сера, железо, магний, алюминий, фосфор, кальций, калий. Возможно, что именно эти биофилы и их соединения способствовали возникновению живого вещества. Известно также, что разнообразные молекулярные соединения минерального и органического характера (например, аммиак, вода, диоксид углерода, метан, сероводород, карбиды, графит, углеводороды) присутствуют в межзвездном веществе и метеоритах. Установлено постоянное наличие в межзвездном пространстве различных «органических» молекул типа формальдегида, ацетальдегида и др., которые могли послужить основой для синтеза органических полимеров, нуклеиновых кислот, полисахаридов и дать начало жизни.

В. И. Вернадский предполагал, что возникновение жизни и биосферы на Земле является неизбежным следствием эволюции космоса и в особенности присутствия во Вселенной простейших органических веществ. Он отмечал, что жизнь возникла не в качестве какого-то одного вида организмов, а как совокупность разнообразных видов, т. е. в форме примитивного биогеоценоза.

Согласно обстоятельным обобщениям и анализу В. А. Ковды, процесс эволюции биосферы Земли можно представить в определенной временной последовательности:

Время сгущения межзвездного вещества и образования планеты Земля	4,5...5 млрд лет назад			
Стадия безжизненного геологического развития	3...4,5	»	»	»
Появление автотрофных бактерий, синезеленых водорослей в водах суши и океане; начало примитивного скального и подводного почвообразования	2,5...3	»	»	»
Начало фотосинтеза, развитие водорослей, лишайников, мхов, формирование первоначальной биосферы и усложнение примитивного почвообразования	1,0...1,5	»	»	»
Развитие и господство лесной растительности на суше, формирование кислородной составляющей атмосферы, мощных аллитных кор выветривания, болотно-аккумулятивного и кислого почвенного покрова, развитая биосфера	0,3...0,5	»	»	»
Остепнение суши, появление травянистой растительности, оформление современного лика материков, природных зон, биосферы, развитого почвообразования, постепенное похолодание, сухость	30... 100 млн лет назад			
Ледниковые и межледниковые эпохи, появление человека	2...3	»	»	»
Постледниковая эпоха	10...20 тыс. лет назад			
Агрокультура и техногенно-индустриальная эпоха	10 тыс. лет назад — наше время			

Предполагается, что доклеточные и бактериальные формы жизни возникли около 3 млрд лет назад. Субстратом жизни длительное время был океан, а позднее — его мелководья и прибрежные зоны. Синезеленые водоросли и лишайники могли уже существовать на голых скалах суши. 1,0... 1,5 млрд лет назад живое вещество стало новой главенствующей во времени геологической силой коренного преобразования планеты, ускоренного саморазвития и воспроизводства. Появление развитой жизни стало началом формирования биосферы. Подвергались существенным изменениям гидросфера и литосфера. Началось заметное снижение в атмосфере концентрации диоксида углерода и повышение концентрации кислорода. Восстановительная среда в литосфере и гидросфере сменилась окислительной. Изменились условия миграции и осаднения соединений железа, марганца, серы, азота. 300...500 млн лет назад произошла глубокая биологизация суши. Фотосинтетическая и почвообразующая деятельность завоевывавшей сушу растительности (главным образом древесных растений) привела к формированию в земной коре огромных запасов энергии в виде каменного угля, сланцев, нефти, горючих газов, значительному уменьшению содержания в атмосфере диоксида углерода, накоплению в ней кислорода и молекулярного азота. В третичный период биосфера и суша приобрели тот вид, который застал человек, появившийся на грани третичного и четвертичного периодов.

В целом эволюция жизни и планеты

привела к тому, что различные организмы и их популяции приспособились к условиям среды. Сама же среда (атмосфера, гидросфера, педосфера, оболочка осадочных пород) была преобразована жизнью в биосферу; живое вещество коренным образом изменило природу планеты, биологизировало ее. По замечанию В. А. Ковды, жизнь как бы сама приспособливала среду и оптимизировала условия (например, возникновение озонового слоя, создание благоприятных для существования растений, особенно их корневых систем, рыхлых горизонтов, накопление активной биохимической энергии в массах органического вещества и т. д.), развиваясь по принципу «самоуправляемого расширенного воспроизводства» биомассы, численности организмов, их разнообразия и растущей сложности. Направленное развитие биосферы не было непрерывным. Катастрофы и стрессы космического или земного происхождения (вулканизм, опустынивание, оледенение) нарушали и задерживали процесс расширенного и усложняющегося развития жизни и биосферы, но не могли остановить его.

На рисунке 4.16 схематически представлена эволюция биосферы в виде усложнения системы взаимосвязанных циклов. На основе этих циклов (стадий) формирования биосферы можно выделить качественно различные, но вместе с тем взаимосвязанные и взаимодействующие группы абиогенных, биосферных и биотических факторов, которые привели к возникновению и последующей эволюции биосферы. Абиогенные (космические и геологические)

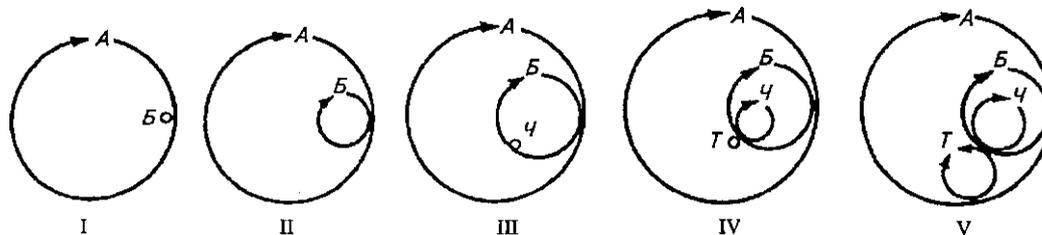


Рис. 4.16. Стадии эволюции биосферы:

/— абиотический круговорот (А), возникновение первичного примитивного биотического круговорота (Б); Я — рост биосферы и биотического круговорота; /// — стабильный биотический круговорот, появление человека (•/); IV — рост человечества, возникновение техногенеза и техносферы (Т); V — современная фаза — рост техносферы и влияние ее на биотический и абиотический круговороты (Камшилов, 1979)

факторы обусловили само возникновение биосферы и возможность ее длительного развития; внутрибиогенным факторам она обязана своей целостностью и относительной устойчивостью. Специфика же биосферы как особой оболочки Земли определяется биотическими факторами, и в первую очередь качественной спецификой живого — способностью к самовоспроизведению.

Уровни организации биосферы. В процессе становления и развития представлены о биосфере выявлены три основных структурных уровня ее организации: биосферный, витасферный и биогеоценотический.

Биосферный уровень представляет собой, по определению А. Н. Тьюрюканова, геологическую оболочку планеты мощностью от границ стратосферы до нижней границы литосферы (т. е. несколько километров), состав и строение которой прямо или косвенно связаны с деятельностью живых организмов как в современную, так и в былые геологические эпохи. Биосфера охватывает части литосферы, которые взаимосвязаны сложными биогеохимическими циклами миграции вещества и энергии.

К витасферному уровню относится область современной жизни и активного биогеоценоза на Земле. Это небольшая (не более десятка, иногда нескольких сотен метров) оболочка, где совершается основная биогеохимическая работа живых организмов. (Понятию витасферы соответствуют другие понятия, предложенные разными авторами, в том числе «пленка жизни», «области сгущения живого вещества» В. И. Вернадского, «почвенный покров планеты», «зеленый покров планеты», «биогеоценотический покров планеты» В. Н. Сукачева, «фитогеосфера» Е. М. Лавренко и т. д.)

Третий структурный уровень организации биосферы — биогеоценозы, являющиеся ее элементарными биохронологическими единицами, где происходит основная работа по синтезу и деструкции вещества, по аккумуляции и преобразованию энергии, через которые осуществляются качественные эволюционные изменения биосферы.

В. М. Федоров и М. М. Камшилов

отмечают, что характерной чертой перечисленных структурных уровней организации биосферы является параллельность, сопряженность их развития. Так, развитие биосферы сопровождается сменой витасфер, а в процессе развития витасферы совершается смена биогеоценозов. Почва, например, будучи определенным элементом биосферы, одновременно участвует в процессах биогеоценотического, витасферного и биосферного уровней организации. Элементарная структурная единица, биогеоценоз, также участвует одновременно в процессах, происходящих в почве, витасфере и биосфере. Таким образом, можно констатировать, что в целостной системе, какой является биосфера, возникающие различные изменения отражаются в той или иной форме на всех ее уровнях. Очевидно, что в сопряженности развития структурных уровней биосферы отражается взаимосвязь развития и структурной организованности материи.

Тенденции изменения окружающей среды. Современная биосфера подвержена возрастающему давлению антропогенного пресса. Человек становится мощным фактором изменения экологической среды уже в первые тысячелетия своей истории, а в последние два-три столетия он активно воздействует на всю биосферу. Человечество добилося выдающихся достижений; вместе с тем стало очевидно, что при нынешнем росте современной цивилизации бездумная, «слепая» ультрапотребительская деятельность человека способна расшатать и нарушить нормальные функции биосферы. Хозяйственная деятельность уже столь масштабна, что естественные процессы во многих регионах мира не в состоянии нейтрализовать антропогенные нагрузки и их вредное влияние. В результате нарушаются сложившиеся в ходе длительной эволюции взаимосвязи в природных системах, подрывается способность к саморегулированию, сокращаются численность и видовое разнообразие живых организмов, разрушаются сложившиеся трофические цепи, происходит деградация биоценозов. Наступил переломный момент в состоянии и экосистем, и биосферы в целом. Человечество

входит в зону неведомого — в область риска. При этом для любых биологических и социальных объектов имеются определенные пределы устойчивости, при переходе через которые происходит *бифуркация* (от лат. *bifurcus* — раздвоенный), т. е. система скачкообразно меняет свойства и даже может вообще прекратить существование.

Известно, что в природе широко распространены пороговые процессы, за пределами которых отмечается обвальное разрушение системы. В этом отношении любопытна, например, история с заливом Кара-Богаз-Гол (Каспийское море), которому была посвящена повесть К. Г. Паустовского «Кара-Бугаз». В 70-е годы, когда наблюдалось устойчивое снижение уровня Каспия, было решено изолировать залив от моря, чтобы уменьшить испарение, достигавшее с поверхности залива 6 км³ воды в год. В 1980 г. под авторским надзором Союзгипроводхоза пролив, соединявший залив с морем, был перекрыт глухой плотиной. Кара-Богаз-Гол — величайшее в мире месторождение природных солей морского типа, образующихся в результате специфических физико-химических процессов. Здесь, в частности, велась промышленная добыча мирабилита (глауберовой соли). Спустя два года после строительства плотины (а не через 25 лет, как рассчитали проектанты) началось интенсивное высыхание залива. Под угрозой разрушения оказалась крупнейшая химическая кладовая природы. Как показали космические снимки, пылевые бури, рождающиеся здесь, распространяют соляную пудру на десятки и сотни километров. Многомиллионные убытки понесло объединение «Карабогазсульфат». Через несколько лет сквозь тело плотины было проложено 11 труб для поступления каспийской воды, а позднее ее вообще разрушили. Оказалось, однако, что вода залива содержит теперь в 3...4 раза меньше солей, чем их было до перекрытия; очень медленно восстанавливается рана. И неизвестно, произойдет ли если неполное, то хотя бы достаточное восстановление... Такого рода примеров известно, к сожалению, немало. Их весьма удачно обобщили в книге

«Уроки экологических просчетов» академик А. Л. Яншин и профессор А. И. Мелуа (1991).

Наглядным свидетельством нарушения стабильности на поверхности Земли служат материалы таблицы 4.3.

Авторский коллектив, возглавляемый В. И. Даниловым-Данильяном (1994), провел обстоятельный эколого-экономический анализ современных проблем окружающей среды и пришел к следующим выводам относительно ее биологической стабилизации:

биосфера — не просто источник ресурсов для человека и приемник отходов его производственной деятельности и жизнедеятельности; она представляет собой гораздо более сложную систему — фундамент жизни, где сама биота в соответствии с принципом Ле Шателье* обеспечивает стабильность окружающей среды;

биосфера в целом и естественные экосистемы обладают предельной хозяйственной емкостью; превышение верхнего порога этой емкости нарушает устойчивость биоты и окружающей среды;

в пределах хозяйственной емкости биосфера и земные экосистемы, подчиняясь принципу Ле Шателье, быстро восстанавливают все нарушения окружающей среды, и последняя остается устойчивой; способность восстано-

*Принцип Ле Шателье заключается в том, что изменение любых переменных в системе в ответ на внешние возмущения происходит в направлении компенсации производимых возмущений. В биосфере он отражает способность живого вещества восстанавливать экологические условия, нарушенные в результате природных катастроф или антропогенного воздействия. В теории управления этот принцип носит название отрицательных обратных связей, благодаря которым система возвращается в первоначальное состояние, если производимые возмущения не превышают пороговых значений. Сущность рассматриваемого принципа проявляется в том, что скорость чистого поглощения углерода биотой при относительно малых возмущениях окружающей среды пропорциональна приросту концентрации углерода в окружающей среде по отношению к невозмущенному доиндустриальному состоянию. При реализации принципа Ле Шателье коэффициент пропорциональности должен быть Положительным. Анализ скорости выбросов ископаемого углерода и накопления его в атмосфере позволяет установить поведение этого коэффициента (переход от положительных до отрицательных значений) во времени для континентальной биоты в целом.

4.3. Тенденции изменения окружающей среды (Лосев и др., 1993)

Показатель	Тенденция 1972-1992 гг.	Сценарий 2030 г.
Потребление первичной биологической продукции	Рост потребления: 40 % на суше, 25 % в целом (оценка 1985 г.)	Рост потребления: 80—85 % на суше, 50...60 % в целом
Изменение концентрации парниковых газов в атмосфере	Прирост концентрации парниковых газов от десятых долей до 1 % ежегодно	Рост концентрации, ускорение роста концентрации CO ² и CH ⁴ за счет ускорения разрушения биоты
Истощение озонового слоя, рост озоновой дыры в Антарктиде	Истощение озонового слоя на 1...2% ежегодно, ежегодный рост площади озоновой дыры	Сохранение тенденции даже при условии прекращения выброса хлорфторуглеродов
Сокращение площади лесов, особенно тропических	Сокращение со скоростью от 117 тыс. км ² (1980 г.) до 180 ± 20 тыс. км ² (1989 г.) в год (восстанавливается 10% свеженных лесов)	Сохранение тенденции, сокращение площади лесов в тропиках с 18 млн км ² (1990 г.) до 9...11 млн км ² (2030 г.), сокращение площади лесов умеренного пояса
Опустынивание	Расширение площади пустынь (60 тыс. км ² в год), рост техногенного опустынивания	Сохранение тенденции, возможен рост темпов за счет уменьшения влагооборота на суше и накопление загрязняющих веществ в почвах
Деградация земель	Рост эрозии (24 млрд т ежегодно), снижение плодородия, накопление загрязняющих веществ, закисление, засоление	Сохранение тенденции, рост эрозии и загрязнения сельскохозяйственных земель
Повышение уровня океана	Подъем уровня на 1..2 мм/год	Сохранение тенденции, возможно ускорение подъема уровня до 7 мм/год
Исчезновение видов организмов	Быстрое исчезновение видов	Усиление тенденции по мере разрушения биосферы
Качественное истощение вод суши	Рост объемов сточных вод, точечных и площадных источников загрязнения, числа загрязняющих веществ и их концентрации	Сохранение и нарастание тенденций
Накопление поллютантов в средах и организмах, миграция в трофических цепочках	Рост накопления массы и числа загрязняющих веществ в средах и организмах, рост радиоактивности среды	Сохранение тенденций и возможное усиление
Ухудшение условий проживания людей, рост заболеваний	Рост бедности, нехватка продовольствия, высокая детская смертность, высокий уровень заболеваемости, необеспеченность чистой питьевой водой в развивающихся странах, проживание в зонах высокого загрязнения, рост генетических заболеваний, высокий уровень аварийности, рост аллергических заболеваний в развитых странах, пандемия СПИД в мире, понижение иммунного статуса	Сохранение тенденций, рост нехватки продовольствия, рост генетических заболеваний и заболеваний, связанных с экологическими нарушениями, расширение территории инфекционных заболеваний, появление новых болезней

ния в абсолютных величинах, как и предел хозяйственной емкости, заметно меняется по природным законам в зависимости от продуктивности биоты (в пустынях эта способность наименьшая, а в лесах — наибольшая);

превышение хозяйственной емкости приводит к прекращению выполнения принципа Ле Шателье биотой, быстрому и все большему размыканию круговорота биогенов, превращению самой биоты в источник загрязнения (выброс диоксида углерода, растворимых соединений азота и фосфора) и деформации окружающей среды;

нарушения окружающей среды обуславливают изменения экологических ниш, как следствие, ведут к распаду геномов и в дальнейшем к исчезновению многих видов организмов; правомерно полагать, что подобный механизм действует в популяции человека, который разрушает и свою экологическую нишу; дополнительно на это накладывается груз загрязняющих веществ, образующихся в результате хозяйственной деятельности;

главной задачей человека является сохранение и восстановление естественных сообществ организмов в таких масштабах, чтобы вернуться в пределы хозяйственной емкости биосферы в целом; только при этом условии прекратится трансформация окружающей среды, будет обеспечена ее стабильность;

многолетний опыт сохранения и восстановления окружающей среды на основе технологического подхода не принес желаемых результатов и снижения антропогенного давления;

пределы роста человечества определяются не возможным недостатком продовольствия, не предполагаемой нехваткой сырьевых ресурсов, не изменением климата, а хозяйственной емкостью экосистем и биосферы в целом, верхним порогом которой является перевод в антропогенный канал более 1 % чистой первичной продукции биоты (фотосинтеза); превышение этой пороговой величины ведет к дестабилизации окружающей среды и распаду генома человека, а следовательно, к исчезновению его как вида; процесс этот инерционный; на суше еще сохраняются достаточно обширные территории с ненару-

шенными естественными сообществами, которые могут стать центрами восстановления стабильности окружающей среды, а человеческая популяция, как и популяции других видов, обладает мощным механизмом восстановления нормального генома;

для решения проблем окружающей среды и выбора соответствующей стратегии важно осознать, что опасный порог уже перейден, что возникшие проблемы не могут быть решены одними хозяйственными и технологическими методами (при всей их значимости), что люди должны стремиться обеспечить стабильность биосферы для сохранения цивилизации.

4.6. БИОСФЕРА — ОТКРЫТАЯ СИСТЕМА

Замкнутые системы. Взаимоотношения живого организма с внешней средой основываются на состоянии гомеостаза. По определению К. Бернара, гомеостаз заключается в том, что постоянство внутренней среды есть условие свободного поведения. На всех уровнях развития биологических организмов, как отмечает О. Г. Чораян, гомеостатичность в их деятельности обеспечивается прежде всего восприятием и переработкой информации в системе организм-внешняя среда. Тесная связь между различными формами жизнедеятельности организма и изменением энергетического баланса в данной системе дает возможность использовать в биологии термодинамические методы, в частности второй закон термодинамики с вытекающими из него следствиями, в соответствии с которыми замкнутая система, предоставленная самой себе, стремится к достижению наиболее вероятного состояния, заключающегося в ее максимальной дезорганизации. Биосфера образует закрытую, но не изолированную микросистему, которая постоянно обменивается энергией с внешней средой (макросистемой).

Известно, что согласно второму закону термодинамики энтропия в замкнутой системе либо остается неизменной (случай обратимой реакции), либо возрастает (случай необратимой реак-

ции) и в конечном счете стремится к своему максимальному значению. Очевидно, что изменение энтропии в таких системах можно рассматривать как меру необратимости процесса. По степени же возрастания энтропии можно судить об эволюции замкнутой системы. В соответствии со вторым законом термодинамики характеризующую состояние системы энтропию определяют по формуле

$$S = k \ln W,$$

где k — постоянная Больцмана; W — термодинамическая вероятность системы.

Из приведенного уравнения следует, что изолированная система (т. е. не обменивающаяся со средой ни веществом, ни энергией — идеальная, практически не существующая) в результате возрастания ее энтропии самопроизвольно переходит из менее вероятного в более вероятное состояние. Понятие энтропии характеризует ту часть полной энергии системы, которая не может быть использована для производства работы. В отличие от свободной энергии она представляет собой деградированную, отработанную энергию. Если обозначить свободную энергию через F и энтропию через S , то полная энергия системы будет равна:

$$E = F + ST,$$

где T — абсолютная температура по Кельвину.

Характеризуя термодинамические аспекты деятельности биосферы и человека, не следует упускать из виду, что второй закон термодинамики справедлив только для биосферы. По мнению некоторых исследователей, в частности И. Р. Пригожина, его можно применить не только к изолированным, но и к открытым системам, далеким от состояния термодинамического равновесия, если учесть поток энтропии извне, отказавшись от таких далеко идущих абстракций, как изолированная система и равновесное состояние. Анализ поведения открытых систем позволяет лучше понять структурообразование и сохранение высокой степени организованности в биологических системах.

В соответствии с законами физики

и химии в неживой природе происходит непрерывное нивелирование энергетических градиентов: механические перемещения от высокого давления к более низкому, диффузное уравнивание концентраций, нейтрализация свободных химических связей и т. д. В превращениях неживой материи преобладают процессы снижения уровня организации: разрушение горных пород выветриванием и вымыванием, химический распад и т. д. Изменения эти обусловлены действием метеорологических, геологических и космических факторов и направлены на достижение равновесия между компонентами каждой неживой системы и самой системой в отношении других. При этом мера неорганизованности как энергетических потенциалов, так и материальных структур, выраженная энтропией, имеет тенденцию к непрерывному увеличению. А. Б. Коган отмечает, что в отличие от неживой природы, где направление превращений вещества и энергии характеризуется общим снижением уровня организации и качества энергии, приближением к устойчивому равновесию, возрастанием термодинамической и структурной энтропии, в живой природе направление этих превращений оказывается прямо противоположным, что и определяет ведущую роль биосферы на Земле. Именно живой обмен веществ обеспечивает воспроизводство иерархии сложных структур организма посредством последовательного синтеза его компонентов, перекрывающего в процессе роста и развития их непрерывное разрушение. Жизненный процесс, таким образом, непрерывно восстанавливает существовавшие и создает новые градиенты энергии, накапливая свободную энергию устойчивого равновесия. В термодинамическом отношении эти процессы выражаются возрастанием отрицательной энтропии (негэнтропии), которое достигается за счет углубления энтропии окружающей среды.

В соответствии с изложенным А. Б. Коган сформулировал обобщающие выводы, позволяющие лучше понять функции важнейших подсистем в общей системе биосферных процессов:

«...общее направление превращений биосферы в целом или ее функцию можно определить как повышение уровня структурной организации, накопление свободной энергии устойчивого неравновесия, появление и возрастание устойчивого неравновесия, появление и возрастание негэнтропии, которые достигаются за счет энергетических и материальных ресурсов неживой природы и реализуются в синтезе первичной биомассы и эволюции ее форм;

...общее направление превращений в растительной подсистеме биосферы или ее функцию можно определить как первичный синтез биомассы из неорганических источников, создание исходного негэнтропийного материала;

...общее направление превращений в животной подсистеме биосферы или ее функцию можно определить как прогрессивные преобразования биомассы, повышающие ее структурную организацию и уровень негэнтропии;

...функцию человеческой подсистемы биосферы можно определить как производство все новых орудий труда, позволяющих создавать небиологическим техническим путем свободную энергию негэнтропии в искусственных высокоорганизованных системах, воспроизводящих прямо или косвенно некоторые процессы, осуществлявшиеся до того только живой материей*.

Теория открытых систем. Принципиальное значение для понимания динамики биосферных процессов и конструктивного решения конкретных экологических проблем имеют теория и методы открытых систем, оформившиеся несколько десятилетий назад, являющиеся, безусловно, одним из важнейших научных достижений XX столетия и позволяющие с единых методологических позиций подходить к устойчивости биологических систем, процессам самоорганизации, диссипативным структурам и многим другим вопросам.

В книгах И. Р. Пригожина «Введение в термодинамику необратимых процессов» (1960), «Неравновесная статистическая механика» (1964), Г. Хакена «Синергетика» (1980), И. Пригожина,

И. Стенгерса «Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой» (1986), Ю. М. Свиричева «Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии» (1986), С. П. Капицы и др. «Синергетика и прогнозы будущего» (1997), В. А. Лисичкина и др. «Закат цивилизации или движение к ноосфере» (1997), Г. И. Рузавина «Концепции современного естествознания» (1997); научных статьях К. М. Петрова «Устойчивое развитие: миф или реальность?» (1995), В. И. Короткова «Развитие концепции ноосферы на основе парадигмы синергетики» (1996) и других публикациях рассмотрены ключевые положения теории открытых систем, а также показаны ее роль и возможности в познании законов развития окружающего мира.

Как известно, анализ систем в классической термодинамике в значительной мере связан с абстрагированием от их реальной сложности, в частности не учитывается их взаимодействие с внешней средой. Согласно классической термодинамике, физические и другие системы неживой природы эволюционируют в направлении усиления их беспорядка, разрушения и дезорганизации. Возникает вопрос: каким же образом из неживой природы, системы которой имеют тенденцию к дезорганизации, могла появиться живая природа, системы которой в соответствии с эволюционной теорией Дарвина стремятся к совершенствованию и усложнению своей организации? В обществе в целом наблюдается прогресс. Очевидно, что исходное понятие классической физики — понятие закрытой, или изолированной, системы — не отражает реальности и находится в явном противоречии с результатами исследований в биологии и общественных науках. Нельзя не вспомнить, что вскоре после того, как было сформулировано второе начало термодинамики, появились мрачные прогнозы о «тепловой смерти» Вселенной и т. д.

В весьма своеобразной форме термодинамика впервые ввела в физику понятие времени как необратимого процесса возрастания энтропии в системе. Согласно этому понятию, чем выше энтропия системы, тем более длительный

*Человек и биосфера. — Ростов: Изд-во Ростовского университета, 1977. С. 113—115.

временной промежуток прошла она в своей эволюции. Такое понятие об эволюции системы принципиально отличается от понятия эволюции, лежащего в основе теории происхождения видов путем естественного отбора. В соответствии с ней эволюция направлена на выживание более совершенных организмов и усложнение их организации. В термодинамике же эволюция соотносится с дезорганизацией систем.

Исторический опыт показал, что, будучи довольно абстрактным, понятие закрытой системы существенным образом искажает действительность, ибо фактически в реальной природе нет систем, которые не взаимодействовали бы с окружающей средой, также состоящей из систем. И вполне закономерно, что в 60-х гг. XX в. появляется новая — неравновесная (нелинейная) термодинамика, основывающаяся на концепции необратимых процессов. Место закрытой, изолированной, системы в ней занимает принципиально иное основополагающее понятие открытой системы, которая способна обмениваться с окружающей средой веществом, энергией и информацией.

Одним из первых определение этому понятию дал известный австрийский физик Э. Шредингер в книге «Что такое жизнь с точки зрения физики?» (1947). Подчеркивая, что отличительная особенность биологических систем состоит в обмене энергией и веществом с окружающей средой, он писал, что средство, при помощи которого организм поддерживает себя постоянно на достаточно высоком уровне упорядоченности (равно на достаточно низком уровне энтропии), в действительности состоит в непрерывном извлечении упорядоченности из окружающей его среды.

Открытая система, таким образом, заимствует извне либо новое вещество, либо свежую энергию и одновременно выводит во внешнюю среду использованное вещество и отработанную энергию, т. е. она не может оставаться замкнутой. В процессе эволюции система постоянно обменивается энергией с окружающей средой и производит энтропию. При этом характеризующая степень беспорядка в системе энтропия, в отличие от закрытых систем, не

аккумулируется, а транспортируется в окружающую среду. Логичен вывод, что открытая система не может быть равновесной, поскольку требует непрерывного поступления из внешней среды энергии или богатого ею вещества. По Э. Шредингеру, вследствие такого взаимодействия система черпает из окружающей среды порядок и тем самым привносит в нее беспорядок.

Выдающаяся роль в развитии и становлении неравновесной термодинамики принадлежит И. Р. Пригожину, русскому по происхождению, бельгийскому физико-химику, лауреату Нобелевской премии 1977 г.

Термодинамика открытых систем изучает существенно неравновесные процессы. В их описании ключевую роль играет понятие возрастания энтропии системы, обусловленное происходящими в ней внутренними процессами. Рост энтропии в единицу времени в единице объема называется функцией диссипации*. Системы же, функция диссипации в которых отлична от нуля, носят название диссипативных. Для них характерен переход энергии упорядоченного процесса в энергию неупорядоченного процесса, а в конечном счете — в тепло. Если между двумя системами существует связь, возможен переток энтропии из одной системы в другую, вектор которого определяется значениями термодинамических потенциалов. Здесь-то и появляется качественное различие между изолированными и открытыми системами. В изолированных системах ситуация остается неравновесной. Процессы идут, пока энтропия не достигнет максимума. В открытых системах отток энтропии наружу может уравновесить ее рост в самой системе. Такого рода условия способствуют возникновению и поддержанию стационарного состояния (типа динамического равновесия), названного Л. Бергаланфи текущим равновесием. В стационарном состоянии энтропия открытой системы остается постоянной, хотя и не является максимальной. Постоянство поддерживается за счет того, что система непрерывно из-

*Диссипация (от лат. dissipatio) — рассеяние; диссипативный — связанный с потерей энергии.

влекает из окружающей среды свободную энергию. Динамика энтропии в открытой системе описывается уравнением И. Р. Пригожина:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt},$$

где $\frac{dS_i}{dt}$ — характеристика энтропии необратимых процессов внутри самой системы; $\frac{dS_e}{dt}$ — характеристика обмена энтропией между биологической системой и окружающей средой.

Если в открытой системе необратимые процессы приближаются к стационарному состоянию, величина $\frac{dS}{dt}$ стремится к минимально возможному при данных условиях положительному значению. Состояния текущего равновесия весьма разнообразны. По своим характеристикам они могут быть близкими к равновесным, неустойчивыми или условно устойчивыми. Суммарное уменьшение энтропии в результате обмена с внешней средой при определенных условиях может превысить ее внутреннее производство. Появляется неустойчивость предшествующего неупорядоченного состояния. Возникают и возрастают до макроскопического уровня крупномасштабные флуктуации. При этом возможна саморегуляция, т. е. возникновение определенных структур из хаотических образований. Такие структуры последовательно могут переходить во все более упорядоченное состояние. Энтропия в них убывает. Упорядоченные образования, возникающие в диссипативных системах при неравновесных необратимых процессах, И. Р. Пригожий назвал диссипативными структурами. Диссипативные структуры образуются вследствие развития собственных внутренних неустойчивостей в системе (в результате самоорганизации), что отличает их от организации упорядоченных структур, формирующихся под воздействием внешних причин. Для функционирования диссипативным системам требуется больше энергии, чем более простым структурам, которые они сменяют. И. Р. Пригожий обращает особое внимание на возможность спонтанного возникновения порядка и организованности из беспорядка и хаоса в результате процесса самоорганизации.

Различные диссипативные структуры реализуются и в экологических системах. Примером тому, в частности, может служить пространственно упорядоченное расположение бактерий в питательных средах, наблюдающееся при определенных условиях, или характерные для высших организмов временные структуры. Например, система хищник—жертва, отличающаяся устойчивым режимом колебаний с определенной периодичностью численности популяций животных. Можно вспомнить также процессы гликолиза, синтеза белков в клетке и др.

Процессы самоорганизации основываются на обмене энергией и массой с окружающей средой, и это позволяет поддерживать искусственно создаваемое состояние текущего равновесия, когда потери на диссипацию компенсируются извне. С поступлением новой энергии или вещества неравновесность в системе возрастает. В конечном итоге прежние взаимосвязи между элементами системы, определяющие ее структуру, разрушаются. Между элементами системы устанавливаются новые связи, приводящие к кооперативным процессам, т. е. к коллективному поведению ее элементов. Такова общая схема процессов самоорганизации в открытых системах. Немецкий физик Г. Хакен новое направление исследований, связанное с изучением процессов самоорганизации, назвал *синергетикой* (от гр. *sinergos* — совместно действующий). При этом уместно отметить, что автор термина «синергетика» пришел к своим выводам на основе изучения механизмов кооперативных процессов, происходящих в твердотелом лазере. Видный теоретик самоорганизации И. Р. Пригожий сформировал свои идеи в результате изучения специфических химических реакций (химические реакции, впервые экспериментально изученные отечественными учеными Б. П. Белоусовым и А. М. Жаботинским).

Концепция самоорганизации, поновому освещая взаимосвязь неживой и живой природы, позволяет лучше понять, что весь окружающий нас мир и Вселенная представляют собой совокупность разнообразных самоорганизующихся процессов, которые лежат в основе любого эволюционного развития.

Существует несколько необходимых (но далеко не достаточных) условий для возникновения самоорганизации в различных системах природы (Рузавин, 1997):

1. Система должна быть открытой.

2. Такая открытая система должна быть достаточно далеко от точки термодинамического равновесия. В противном случае (достигнута точка равновесия) система, как уже отмечалось ранее, обладает наибольшей энтропией и по этой причине не способна к какой-либо организации (данное положение соответствует максимуму ее самодезорганизации).

3. В отличие от изолированных систем основополагающим принципом самоорганизации является возникновение и усиление порядка через флуктуации. Эти случайные отклонения системы от некоторого среднего положения она первоначально подавляет и ликвидирует. И все же в открытых системах в результате усиления неравновесности отклонения со временем возрастают, а в конечном счете расшатывают прежний порядок и приводят к возникновению нового. (Принцип образования порядка через флуктуации.) Исходя из случайного характера флуктуации, следует, что появление нового в мире всегда обусловлено действием случайных факторов.

4. Возникновение самоорганизации опирается на принцип положительной обратной связи, в соответствии с которым изменения, возникающие в системе, не устраняются, а накапливаются и усиливаются. В итоге это-то и приводит к возникновению нового порядка и структуры.

5. Процессы самоорганизации сопровождаются нарушением симметрии, т. е., будучи связанными с необратимыми изменениями, они приводят к разрушению старых и возникновению новых структур. При этом разрушение является своеобразным переломным моментом, достижением точки бифуркации.

6. Самоорганизация может начаться только в системах, обладающих достаточным количеством взаимодействующих между собой элементов, которые имеют некоторые критические размеры. Без этого условия эффекты синергического взаимодействия не обеспечи-

вают кооперативного поведения элементов системы, а следовательно, и возникновения самоорганизации.

Перечисленные условия необходимы, но далеко не достаточны для возникновения самоорганизации в различных системах природы. По резонному замечанию Г. И. Рузавина, даже в химических самоорганизующихся системах, которые изучали Белоусов и Жаботинский, в «игру» вступают такие новые факторы, как процессы катализа, которые ускоряют химические реакции. Отсюда следует вывод, что чем выше мы поднимаемся по эволюционной лестнице развития систем, тем более сложными и многочисленными оказываются факторы, которые играют существенную роль в самоорганизации.

Согласно И. Р. Пригожину, замкнутые системы составляют весьма незначительную часть физической Вселенной. Большинство систем открытые. Неустойчивость и неравновесность можно предположить, являются доминирующими в окружающем мире. В сущности говоря, все, что нас окружает, представляет собой далекий от равновесия мир, где все взаимосвязано, мир неустойчивостей и необратимости, нелинейности и обратных связей, эволюции и катастроф, хаоса и сложнейших структур, диссипации и самоорганизации. Теория эволюции органического мира дает достаточно весомые основания рассматривать биосферу как открытую систему, которая находится в неравновесном состоянии и в которой развитие живой материи идет от низших форм к высшим.

Уже отмечалось, что открытые системы непрерывно флуктуируют и на каком-то этапе достигают точки бифуркации. Суть бифуркации лучше всего иллюстрирует витязь на распутье, стоящий перед камнем с надписью: «Направо пойти — женатому быть, налево пойти — коня потерять, прямо пойти — буйну голову сложить». В каком-то месте пути встречается развилка, где необходимо принимать решение. Около развилки пути еще очень близки, но дальше они ведут витязя к совершенно разным приключениям. При достижении точки бифуркации принципиально нельзя предугадать, в каком на-

правлении будет дальше развиваться система — перейдет ли она в хаотическое состояние или приобретет новый, более высокий уровень организации.

По своему строению живая и косная материи существенно различаются между собой. Это различие определяется исключительно сложной структурой живого вещества, а также способностью его изымать из окружающей среды полезную энергию в количестве, необходимом для самосохранения и саморазвития. Достигается это в результате образования материальных элементов, которые могут в процессе своего зарождения, развития и жизни заимствовать свободную энергию из окружающей пространства, формировать новые элементы живой материи, сохранять информацию о структуре живых элементов, их наследственности и т. д. за счет использования свободной энергии из окружающей среды.

К. М. Петров, оценивая основные положения теории открытых систем применительно к биосферным процессам, пришел к следующему заключению: «Очевидно, что при существующих космических и земных предпосылках живое вещество способно продолжать свое «давление» на внешние оболочки Земли и потенциал этого давления отнюдь не ослабевает. Антропогенный фактор, вызывающий деструкцию биосферы, следует рассматривать как флуктуацию, вызванную популяционным взрывом, который по законам регулирования неизбежно будет элиминирован. Система общество — природа, следуя теории Пригожина, достигнув точки бифуркации, должна будет перестроиться. Однако распад старой системы отнюдь не будет означать ее хаотического состояния. Бифуркация — это импульс к развитию биосферы по новому неведомому пути. Какое место займет в нем человеческое общество — это предмет специальных исследований. О судьбе биосферы можно не беспокоиться, она продолжит свое развитие»*.

В начале 80-х гг. концептуальные

*Петров К. М. Общая экология. — СПб.: Химия, 1997. С. 128.

положения неравновесной термодинамики использовал В. А. Черников в процессе разработки проблемы диагностики гумусового состояния почв по показателям структурного состава и физико-химическим свойствам. Рассматривая процессы превращения органического вещества почв с позиций термодинамики открытых систем, исследователь показал, что убыль свободной энергии в почвенной системе покрывается за счет притока отрицательной энтропии (негэнтропии), возникающей при разложении растительных остатков, поступающих в почву. При этом увеличение негэнтропии при возрастании количества поступающих растительных остатков в систему будет переводить ее в новое стационарное состояние с более высоким энергетическим уровнем.

Гумусовые соединения почв можно отнести к диссипативным структурам, для существования которых необходим постоянный обмен энергии и вещества; они стабильны до тех пор, пока связаны с окружающей средой. Следовательно, необходим постоянный приток свежего растительного материала для поддержания соответствующего уровня стабилизации как гумусового состояния, так и самой структуры почвы. С другой стороны, диссипация энергии, возникающая за счет разложения гумусовых соединений, крайне необходима и микроорганизмам, и растениям. Как известно, одна из ключевых задач сельского хозяйства состоит в том, чтобы непрерывно создавать органическое вещество, в котором воплощается скрытая энергия жизни человечества. По Л. Больцману, борьба за существование живых существ — борьба не за вещество или энергию, а за энтропию, возможность использования которой появляется в результате перехода энергии от горячего солнца к холодной земле. Запасенная в гумусе энергия — источник дополнительной отрицательной энтропии. Увеличение количества этого потока к микроорганизмам и корням имеет огромное значение с учетом того, что растения усваивают лишь около 1 % солнечной энергии. С другой стороны, коэффициент использования микроорганизмами

энергии, освобождающейся при окислении органических веществ, не превышает 20%.

Благодаря постоянному потоку вещества и энергии, проходящих через систему, флуктуации могут стабилизироваться и, в свою очередь, обеспечить поддержание стабильной структуры гумусовых соединений. При этом исходные структуры несут на себе отпечаток исходных флуктуаций, т. е. обладают в некотором роде простейшей памятью с функцией самодостройки. Все это приводит к спонтанной самоорганизации системы. Принятый подход хорошо согласуется с рассмотрением почвенной системы как почва-память и почва-момент. При этом квазиравновесное состояние, по-видимому, адекватно стационарному, в то время как полный климакс (равновесие в закрытой системе) почвы представляется маловероятным.

При истощении источников энергии стационарное состояние становится нестабильным и система стремится к равновесию. Примером равновесного состояния может служить вариант «бессменный пар» длительного опыта в МСХА им. К. А. Тимирязева. В вариантах же с «бессменными культурами» наблюдаются стационарные состояния определенного уровня.

Системный подход к изучению процессов почвообразования, когда каждый элементарный биогеоценоз рассматривается как система, состоящая из блоков, обменивающихся веществом и энергией с учетом интенсивных и экстенсивных параметров, в наибольшей степени соответствует рассмотрению этих процессов именно с позиций термодинамики открытых систем. В этом контексте состояние равновесия, или стационарное состояние гумуса в данный момент времени, будет характеризоваться современными биоклиматическими условиями, принятой системой обработки почвы, количеством применяемых минеральных и органических удобрений в севообороте и т. п. Поэтому правомерно говорить о некотором предельном, возможном для данных условий уровне накопления органического вещества в почве.

Регулирование количества органического вещества можно обеспечить путем имитации степени открытости системы, «закрывая» ее, например, минимизацией обработки после многолетних трав в севообороте. Это создает оптимальные условия для увеличения запасов гумуса и усиления процессов закрепления разлагающихся растительных остатков. При необходимости усиления процессов минерализации целесообразно «открывать» систему, внося больше минеральных удобрений и увеличивая долю пропашных культур в севообороте.

Стационарное состояние гумуса наблюдается в целинных почвах. Имеющиеся здесь запасы его, очевидно, характеризуют максимальную возможность таких почв. При окультуривании система выходит из этого состояния и в зависимости от направленной деятельности человека может прийти в новое стационарное состояние, характеризующееся либо меньшими (что чаще всего и бывает), либо более высокими запасами гумуса, значительно превышающими исходный уровень, что, естественно, требует и значительно больших усилий. При этом время, необходимое для достижения того или иного уровня стационарного состояния, зависит от интенсивности воздействия изменяющихся факторов почвообразования. Можно считать несомненным, что процесс гумификации осуществляется на основе принципа отбора термодинамически устойчивых структур.

Приведенный пример наглядно подтверждает, насколько плодотворным может быть и в теоретическом, и в методологическом отношении изучение биосферных процессов на разных иерархических уровнях организации на основе идей неравновесной термодинамики. Накоплен большой фактический материал по проблемам взаимодействия общества и природы. Всестороннее осмысление его и выработка предельно достоверного ответа на извечный вопрос «что делать?», несомненно, лежат в плоскости концептуальных положений неравновесной термодинамики и синергетики.

Глава 5

РЕСУРСЫ БИОСФЕРЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ

●

5.1. ОСТРОТА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ

Во все времена обеспечение людей продуктами питания оставалось важнейшей задачей постоянно растущего населения Земли. И хотя производство продовольствия в мире непрерывно увеличивается, эта проблема остается острой во многих странах.

Из сотен тысяч растений и животных, населяющих Землю, лишь немногие сотни видов и сортов основных сельскохозяйственных культур и пород животных используются людьми при изготовлении продуктов питания. Зависимость удовлетворения потребностей человека в продовольствии от сравнительно узкого набора сельскохозяйственных растений и животных повышает уязвимость систем производства продуктов питания от случайных явлений: экстремальных условий погоды (засухи, суховеи, заморозки, наводнения и др.), эпизоотии среди сельскохозяйственных животных, загрязнения окружающей среды выше допустимых значений и т. п.

Рост населения планеты, с одной стороны, вызывает необходимость в значительном увеличении количества продуктов питания, с другой — усиливает антропогенное давление на естественные экосистемы.

Сельскохозяйственная деятельность человека — древнейшая форма использования природных ресурсов. В своем стремлении взять от этих ресурсов как можно больше для обеспечения растущих потребностей общества человек в процессе сельскохозяйственного производства все энергичнее вторгается в сложившееся тысячелетиями экологическое равновесие в природе. XX век знаменателен, резким ускорением и усилением такого вторжения: вырубка лесов, стремительное увеличение площадей распаханых территорий, перевыпас, строительство гигантских гид-

ротехнических сооружений, изменяющих экологические условия существования биоты, возрастающие объемы применения химических средств в растениеводстве (удобрения, пестициды) и т. п. В результате получили развитие процессы деградации почвенного и растительного покровов, загрязнения воздуха, почвы, водоемов, опустынивания, сокращения биологического разнообразия на Земле и др. Человек в своей хозяйственной деятельности вышел на глобальный уровень воздействия на биосферу.

Несмотря на некоторое увеличение производства продуктов питания в расчете на душу населения в целом на Земле, во многих странах сотни миллионов людей недоедают и сотни тысяч погибают от голода. В материалах Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992) приводятся данные о том, что в мире живет 1,1 млрд человек, доход которых составляет менее 1 доллара США в день. В то же время модель национального развития, приведшая к нынешнему благополучию развитые страны, была признана на конференции губительной для планеты.

В различных регионах земного шара условия для жизни людей складываются неодинаково, поскольку исторически сформировавшиеся почвенно-климатические зоны и высотные пояса в горах обладают различными возможностями для продукционного процесса растений и производства биологической продукции. Получение необходимого количества продовольствия зависит от сложившихся почвенно-климатических и погодных условий, технологий производства продуктов питания и принятых в каждой стране социально-экономической и политической систем их распределения. Природные условия конкретных территорий в форме ресурсов солнечной энергии, тепла, влаги, земельных угодий составляют первооснову

процесса формирования органического вещества, часть из которого люди используют в виде продуктов питания.

5.2. РЕСУРСЫ БИОСФЕРЫ

Солнечная радиация и биологическая продуктивность. Солнечная радиация — основной источник энергии, обеспечивающий продукционный процесс растений и животных. Продолжительность освещения земной поверхности в течение суток определяется астрономическими факторами — вращением Земли вокруг своей оси и наклоном оси относительно Солнца, обуславливающими смену дня и ночи, изменение их продолжительности и смену сезонов года.

Солнечная радиация, поступающая на верхнюю границу атмосферы, проходя через последнюю, претерпевает изменения: часть ее поглощается, преобразуясь в тепловую энергию, часть рассеивается молекулами газов и парами воздуха, часть отражается в космическое пространство. Постоянные и эпизодические изменения состояния атмосферы определяют различия в приходе к земной поверхности суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной). Ослабление радиации, связанное с поглощением и рассеиванием в атмосфере, зависит от высоты Солнца, мощности облачного покрова, толщины слоя атмосферы и изменения ее оптических свойств. В связи с этим при прохождении через атмосферу спектральное распределение солнечного излучения меняется.

В среднем приток солнечной радиации на Землю составляет $2,1 \cdot 10^{17}$ МДж в год. Однако использование ее растениями в процессе фотосинтеза весьма незначительно: 0,4...0,7 %, а в среднем по земному шару — всего 0,2 %, в растениеводческих хозяйствах с передовой агротехникой — 1,0...1,5 %. Общая первичная продуктивность биосферы формируется в процессе создания органических веществ путем использования солнечной энергии при фотосинтезе.

Продуктивность биосферы обычно выражают в тоннах органического вещества, продуцируемого в год, или в количестве ассимилированной и «законсер-

вированной» энергии в форме различных химических соединений. Первичная продуктивность биосферы Земли оценивается в 83 млрд т органического вещества в год, из них на долю суши приходится 53 млрд т, на долю Мирового океана — 30 млрд т (Ковда, 1971). При этом за счет фотосинтеза на Земле ассимилируется такое количество углерода, которому соответствует $1,7 \cdot 10^{18}$ МДж энергии (общая годовая продуктивность биосферы). Из этого количества на питание людей расходуется $1,35 \cdot 10^{15}$ т, что соответствует $9,2 \cdot 10^{15}$ МДж — это суммарное потребление энергии населением Земли (Ковда, 1971).

При сопоставлении общей продуктивности биосферы в год ($1,7 \cdot 10^{18}$ МДж) и суммарного потребления энергии населением Земли ($9,2 \cdot 10^{15}$ МДж) можно рассчитать коэффициент пищевого использования энергии (КПИ), составляющий в среднем 0,55. Значение КПИ широко варьирует в различных регионах сельскохозяйственного производства, отличающихся комплексом почвенно-климатических и социальных условий. Повышение КПИ в основном зависит от достижений генетики, селекции, агротехники (особенно уровня культуры земледелия) и в определенной мере от дальнейшего расширения посевных площадей.

Землепользование. Общая площадь континентов нашей планеты составляет 14,8 млрд га, из которых пахотными землями и многолетними насаждениями (плодовые, масличные, ягодные и другие культуры) занято 1,5 млрд га (примерно 11%). Сенокосы и пастбища занимают около 3 млрд га (22,3 %), леса — немногим более 4 млрд га (или почти 30 %), прочие земли, неудобные для освоения (болота, голые пески, бедленд*, ледники, скалы и т. п.), — 4,9 млрд га (36,6 %).

Приведенные цифры раскрывают лишь общую картину землепользования, которая варьирует в широких пределах по континентам и странам в зависимости от комплекса природных условий и социально-экономической систе-

*Бедленд — резко и сложно расчлененный ландшафт, непригодный для земледелия.

мы государств. Однако основные изменения в структуре землепользования происходят в результате расширения хозяйственной деятельности растущего населения Земли, роста числа и размеров городов и других населенных пунктов. Так, ежегодные потери земельных угодий составляют от 5...6 до 8... 9 млн га. Их восполнение для нужд сельскохозяйственного производства происходит в основном за счет вырубки лесов и распашки естественных сенокосно-пастбищных угодий.

По различным оценкам, потребность в территории, обеспечивающей поддержание жизни одного человека, в среднем составляет 1,75...2,00 га, в том числе 1,2 га пастбищ и сенокосов, 0,46 га сельскохозяйственных полей (для питания), 0,07 га лесных насаждений (для поглощения выделяемого диоксида углерода и получения кислорода). Кроме того, человек нуждается в жилых и производственных помещениях (0,01 га), столько же приходится на инфраструктуру (дороги, линии электропередач, связи и др.).

В среднем в мире на одного жителя приходится 3га (в России — 11,5га). По регионам нашей страны распределение территории на душу населения весьма неравномерно: в европейской части — 3,65 га, в Уральском регионе — 9,3 га, в Сибири и на Дальнем Востоке — почти по 37 га. В то же время на Земле значительные территории еще остаются не затронутыми хозяйственной деятельностью человека (в Канаде 65 % территории, в России — 60, в Северной Америке — 42, в Африке — 24, в Европе — всего 4 %).

Сельскохозяйственные угодья в России занимают 206,2 млн га, в том числе пашня — 124,6, сенокосы и пастбища — 74,6 млн га (1997 г.). На одного жителя России приходится примерно 1,4 га сельскохозяйственных угодий, из которых 0,9 га составляют пашни и 0,6 га — сенокосы и пастбища. С учетом же территорий, занятых промышленными объектами и хозяйственной инфраструктурой, в среднем на одного человека в России приходится 1,89 га территории, используемой для хозяйственных нужд. В других странах СНГ, вместе взятых, на одного жителя приходится в среднем более 3 га. Площадь пашни на одного человека в США составляет

0,7 га, в Венгрии — 0,5, во Франции и в Финляндии — по 0,3 га. При этом эффективность использования каждого гектара пашни в этих странах в 3...5 раза выше, чем в России. Причины такого разрыва заключаются в уровне культуры земледелия (низкая эффективность вносимых минеральных удобрений, несоблюдение севооборотов, уменьшение содержания гумуса в пахотных горизонтах почвы и т. д.). Например, в 1986 г. в б. СССР на 1 т внесенных минеральных удобрений получали 8 т зерна, в Индии — 16, в Китае и США — 18 т.

В течение XX в. запасы гумуса в черноземах уменьшились почти в 2 раза. Запасы гумуса в пахотных почвах России уменьшаются ежегодно на 0,3... 0,7 % общих запасов в слое почвы 25...30 см. В последнее десятилетие XX в. под влиянием возрастающей антропогенной нагрузки на пашню потери гумуса достигали 0,64 т/га в год. Расчеты показывают, что если при современных климатических условиях плодородие почв России восстановить до уровня, не лимитирующего минеральное питание сельскохозяйственных культур, то урожайность зерновых культур возрастет на 120 %, а продуктивность сеяных кормовых трав удвоится (Сиротенко, Абашина, 1995).

В некоторых странах Западной Европы внесение в сбалансированных дозах органических и минеральных удобрений, проведение комплекса противоэрозионных и других почвозащитных мероприятий, использование севооборотов и т. п. позволили остановить процессы деградации почв и обеспечили поддержание условий, близких к оптимальному уровню минерального питания сельскохозяйственных культур.

В результате хозяйственной деятельности быстро растущего населения планеты потери земельных угодий постоянно увеличиваются. Особенно чувствительными к различным формам антропогенного давления оказались наиболее хрупкие экосистемы жарких, засушливых, полусушливых регионов и холодных территорий в зоне тундры, лесотундры, а также части высокогорных районов с коротким вегетационным периодом.

Уровень воздействия на природные

экосистемы (распашка целины, эрозия и дефляция почвы, ее засоление, иссушение, загрязнение химическими препаратами, в том числе пестицидами, чрезмерное уплотнение тяжелыми механизмами в процессе обработки почвы и др.) в целом становится соизмеримым с другими мощными антропогенными воздействиями, такими, как вырубка лесов, загрязнение атмосферы, вод суши и Мирового океана. На площади около 950 млн га, или почти на трети обрабатываемых в мире земель, отмечено повышение концентрации солей. Кроме того, 120... 150 млн га орошаемых земель подверглись вторичному засолению и заброшены (Египет, Индия, Иран, Китай, США, Мексика). В государствах СНГ из 20 млн га орошаемых земель утратили плодородие из-за засоления около половины. В государствах Африки потери земель, пригодных для сельскохозяйственного производства, находятся в линейной зависимости от роста населения. На территории Туркменистана, Казахстана и Узбекистана деградация растительного покрова охватила более 37 % их общей площади. В Казахстане все пахотные земли утратили до 20...30% гумуса, около 50% пашни подвержено ветровой и водной эрозии, около 30% пастбищ деградировано. В России процессы деградации земель охватили площадь около 380 тыс. км²; ежегодно площадь эродированных земель увеличивается на 4...5 тыс. км²; деградация растительного покрова (пастбища, сенокосы) отмечена на площади около 700 тыс. км². Общая площадь деградированных оленьих пастбищ на севере и востоке России превышает 68 % их территории (более 230 млн га).

Засоление, эрозия, деградация, истощение или оскудение почв приводят к прогрессивной потере потенциала продуктивности сельскохозяйственных земель, достигающей в отдельных, особенно развивающихся, странах (Мексика, Коста-Рика, Мали, Малави и др.) в год 0,5...1,5 % их валового внутреннего продукта. Защита почв от эрозии и истощения питательных веществ — неотложная задача многих государств и регионов в мире.

Водные ресурсы. Пресная вода относится к числу важнейших лимитирован-

ных, но возобновимых ресурсов биосферы: на нее приходится около 2,5 % всех водных ресурсов Земли. Пресной называют воду, в 1 л которой содержится не более 1 г растворимых солей, т. е. соленость ее равна 0,1 %. Общее количество воды на Земле, по оценке специалистов, составляет 1370,3 млн км³, в том числе пресной воды 35 млн км³, все остальное количество — это воды Мирового океана, соленых озер, подземные воды и т. д.

Водоносные объекты	Объем, тыс. км ³
Ледники, постоянный снежный покров (в пересчете на воду)	24364,0
Подземные воды	10530,0
Пресные озера	91,0
Влага в почве	16,5
Вода в атмосфере	12,9
Болота	11,5
Вода в руслах рек	2,1
Вода в живых организмах	1,1
Всего	35029,1

В расчете на одного жителя Земли в 1986 г. (5 млрд человек) в среднем приходилось 7 млн м³ пресной воды. Однако основная масса пресной воды труднодоступна для человека, поскольку 70 % ее заключено в ледниках полярных стран, а около 30 % — в водоносных слоях под землей.

В руслах рек находится 0,006 % пресных вод, или немногим более одной миллионной части общих запасов воды. Кроме того, пресноводные объекты неравномерно распределены по континентам и странам, что создает весьма различные возможности для хозяйственного использования всего комплекса природных ресурсов на национальном и региональном уровнях.

Около 35 % суши земного шара занято засушливыми и полузасушливыми территориями; более 14 % пахотных земель находятся в таких регионах, где растениеводство возможно только при орошении. Известно также, что естественные колебания климата и экстремальные особенности погоды в отдельные годы приводят к изменениям в количестве выпадающих осадков и к их неравномерному распределению во времени и в пространстве, следствием чего являются засухи и наводнения, оказывающие серьезное влияние на экономику многих стран и регионов.

Атмосферные осадки, выпадающие на равнинах и в горах, ежегодно восполняют расходы речного стока и водоносных горизонтов почвогрунтов в объеме более 7 тыс. м³ пресной воды в расчете на одного человека, живущего на Земле. Из-за неравномерного распределения осадков по поверхности планеты многие страны (в первую очередь Африки, Ближнего Востока, некоторых регионов Азии) характеризуются засушливым климатом. В 22 странах возобновляемые водные ресурсы составляют менее 1 тыс. м³ в год на человека, что не обеспечивает естественной потребности человека в воде. В 19 странах мира ресурсы пресной воды оцениваются в объеме 2 тыс. м³ в год в расчете на одного человека. Общая картина ежегодно восполняемых ресурсов пресной воды в мире представлена в таблице 5.1.

5.1. Ежегодные ресурсы пресной воды в мире («Развитие и окружающая среда...», 1995)

Регионы	Ежегодные внутренние возобновляемые водные ресурсы	
	всего, 3 тыс. км	на душу населения, тыс. м
Африка, южнее Сахары	3,8	7,1
Восточная Азия и острова Тихого океана	9,3	5,3
Южная Азия	4,9	4,2
Восточная Европа и б. СССР	4,7	11,4
Остальная Европа	2,0	4,6
Ближний Восток и Северная Африка	0,3	1,0
Латинская Америка и Карибский бассейн	10,6	23,9
Канада и США	5,4	19,4
Мир в целом	41,0	7,7

(в среднем)

В некоторых государствах дефицит питьевой воды начинает приобретать характер национального бедствия. Так, на привозной пресной воде живут Алжир, Гонконг, Сингапур, жители прибрежных районов Югославии, некоторых городов Туркменистана и др. Опресненную морскую воду вынуждены пить жители стран Персидского залива, некоторых городов и поселков Казахстана и др. По оценкам экспертов ООН, в начале XXI в. ежегодное потребление пресной воды в странах Северной Африки и Ближнего Востока будет равно практически всем запасам воды этих ре-

гионов, а в странах Южной и Восточной Европы (кроме России), Центральной и Южной Азии приблизится к этому уровню.

В 1990 г. специальная рабочая группа по управлению водными ресурсами при Комитете ООН по планированию и развитию указала на необходимость выработки глобальной стратегии использования водных ресурсов. Одним из путей долгосрочного решения проблемы дефицита питьевой воды считаются технические проекты по утилизации покровных льдов Гренландии и Антарктиды, в которых содержится около 70 % мировых запасов пресной воды. Особенно высокой химической чистотой отличаются льды Антарктиды, талая вода которых отвечает характеристикам природной воды высшего качества. Например, айсберг размерами 300x150x50 м содержит около 2 млн т пресной воды; таких размеров айсберг может быть отбуксирован к месту назначения одним-двумя современными ледоколами.

Международная конференция по водным ресурсам и окружающей среде (Дублин, 1992) охарактеризовала состояние глобальных водных ресурсов как критическое. Для выживания многих миллионов людей необходимы немедленные и эффективные действия.

К концу 90-х гг. XX в. в странах Северной и Восточной Африки ежегодно возобновляемые природные ресурсы пресной воды оказались ниже уровня элементарных норм потребления воды населением. В Китае 50 больших городов испытывают острую нехватку воды из-за ежегодного снижения уровня грунтовых вод. В г. Мехико (Мексика) выкачивают грунтовую воду для питьевых и бытовых нужд темпами, на 40 % превышающими ее естественное пополнение.

Основа водных ресурсов в России — речной сток, среднее многолетнее значение которого составляет 4300 км³. На одного жителя России приходится 22,4 тыс. м³ воды; однако водообеспеченность среднего жителя на европейской территории страны приблизительно в три раза ниже, чем в Сибири и на Дальнем Востоке. В среднем водозабор из поверхностных водных источников (рек, озер) по отношению к среднему

годовому стоку невелик - и составляет около 2,5...2,7 %.

В среднем на каждого жителя России затрачивается почти 2 тыс. м³ (2000 т) пресной воды в год, что в 3...4 раза превышает среднемировые нормы расхода воды.

В нашей стране увеличивается загрязнение водных объектов сбросами неочищенных сточных вод. Например, в 1989 г. суммарный сброс загрязненных вод составил 76,3 км³, а темпы роста сброса достигли более 1 км³ в год. Поверхностные воды суши, частично подземные и морские воды используют для разбавления и очищения загрязненных промышленными, сельскохозяйственными и бытовыми стоками вод. При этом для разбавления единицы загрязненных вод до их естественного уровня требуется 10...100 и более единиц природных, чистых вод. В России, одной из самых обеспеченных водой стран мира, уже возникла проблема снабжения населения качественной питьевой водой, соответствующей принятым санитарным нормам.

Примером жестокой экологической катастрофы XX в. является гибель Аральского моря. Чрезмерный забор пресной воды в 50—80-е гг. для развития ирригационных систем в бассейне рек Амударья и Сырдарья, питающих это море, привел к сокращению объема их годового стока с 55 до 0...3 км³. В результате объем морской воды уменьшился на две трети, резко возросла концентрация солей в море и в грунтовых водах; на освободившихся от воды участках дна бывшего моря начались образование пустыни солончакового типа и вынос солей на окружающие ландшафты ветровыми потоками. Практически были уничтожены рыбные ресурсы региона, существенно сократилось его биоразнообразие. Под угрозой оказались нормальное водоснабжение и здоровье почти 50 млн человек, проживающих в этом регионе.

Дефицит пресной воды — серьезный фактор, сдерживающий экономическое развитие любого государства.

По расчетам экспертов, к 2030 г. потребность в пресной воде только в развивающихся странах возрастет примерно в 6 раз. Основной спрос на воду будет

связан с заметным ростом численности городского населения. Потребуется более эффективные системы распределения воды в бассейнах рек для обеспечения бытовых нужд людей. Одним из путей решения проблемы дефицита пресной воды считается переход орошаемого земледелия на водосберегающие технологии полива (например, капельное орошение), реализация других технических проектов.

Лесные ресурсы. Лесные экосистемы занимают на Земле около 30 % суши и выполняют функцию «легких» планеты. Леса — важнейший фактор в экологическом равновесии биосферы, один из основных источников кислорода на Земле, глобальный аккумулятор солнечной энергии и биологической массы. Лесной покров очищает околоземную атмосферу, регулирует температурный режим и сток воды, защищает почву от эрозии и является источником разнообразного сырья и питания людей.

Общая площадь лесов на Земле составляет более 4 млрд га (в том числе около 3 млрд га — сомкнутых), больше половины из них — тропические и субтропические леса. Леса произрастают на всех континентах, кроме Антарктиды, но их распространение по поверхности планеты неравномерно (табл. 5.2).

5.2. Древесные ресурсы мира
(«Лесная энциклопедия», 1985—1986)

Регион	Площадь лесных земель, млн га	Лесистость, %	Запас древесины, млрд м ³	Заготовка древесины, млн м ³ в год
б. СССР	938	37,8	85,9	356
Европа (без СССР)	175	31	14,9	334,3
Северная Америка	620	31	41,7	483,6
Латинская Америка	939,5	34	102,9	362,4
Африка	751,2	7,5	50,2	433,9
Азия (без СССР)	522,1	16,7	54,4	1017,1
Австралия	190,4	9,7	6,7	33
Всего в мире	4136,2	22,8	356,7	3020,3

В среднем на одного жителя Земли приходится 0,67 га сомкнутых лесов. Леса в возрасте до 80 лет, занимающие зону умеренного климата, поглощают около 2,7 т углерода на 1 га в год. Расчеты показывают, что такие леса, растущие на площади 400 млн га (для сравнения

ния — площадь лесов в США равна 300 млн га), могут поглощать до 1 млрд т углерода из 3...4 млрд т, ежегодно накапливающихся в атмосфере в результате современной хозяйственной деятельности людей. Одна тонна углерода соответствует 3,7 т CO². Наибольшие выбросы углерода в атмосферу дают: США — 20 %, страны ЕЭС — 20, Россия — 13, Китай — 11 % суммарного выброса в год во всем мире («Проблемы экологии России», 1993).

Естественный лес — один из основных типов растительности на Земле. Он состоит из исторически сложившейся совокупности древесных, кустарниковых, травянистых и других растений (мхи, лишайники, грибы) с присущим каждой лесной формации специфическим типом животного мира. Влажные тропические леса, занимающие 7 % суши, особенно богаты различными видами растений и животных; эти леса обеспечивают среду обитания примерно половине всех известных современной науке видов, являясь при этом источником средств к существованию приблизительно для 140 млн человек. Средняя ежегодная продуктивность этих лесов составляет 28 т органического вещества на 1 га, тогда как смешанные леса умеренных широт продуцируют до 10 т/га.

Антропогенное давление на лесные экосистемы постоянно возрастает: заготовка деловой древесины для экспорта, для производства строительных материалов, бумаги, а также для топлива; сведение лесов для расширения площадей пахотных земель, пастбищных и сенокосных угодий, строительства населенных пунктов, прокладки различных коммуникаций и т. п. Так, в XX в. площадь тропических лесов сократилась на одну пятую часть; в конце 80-х гг. скорость вырубki тропических лесов составила 17...20 млн га в год; в странах Африки полностью уничтожается около 0,8 % лесных площадей в год, в Латинской Америке — 0,9 %, в странах Юго-Восточной Азии — от 2 до 8 %. Расчеты показывают, что при таких темпах вырубki тропических лесов их полное исчезновение может наступить: в Индонезии — через 50 лет, в Таиланде — через 20 лет, на Филиппинах — через 12—15 лет и т. д. Сокращение площадей, заня-

тых лесами, чревато суровыми экологическими и экономическими последствиями: локальными изменениями климата, исчезновением естественной защиты водосборов, особенно в горных регионах, разрушением береговой линии рек и побережий океанов и морей. По мере уничтожения лесов сокращается биологическое разнообразие флоры и фауны, безвозвратно теряется генофонд растительного и животного мира.

В России леса занимают площади, равные около одной пятой части лесного фонда мира; запасы древесины (80,7 млрд м³) составляют приблизительно одну пятую часть ее мировых ресурсов. Основная часть залесенных территорий в России расположена в Сибири и на Дальнем Востоке; около 25 % лесов находится в европейской части страны и на Урале. В российских лесах ежегодно вызревает до 2 млн т кедровых орехов, 2 млн т брусники, 1,5 млн т черники, 0,3 млн т клюквы, много других ягод, а также около 0,8 млн т различных грибов. Ежегодно в России вырубают лес на площади около 2 млн га. При этом уничтожается молодняк (подлесок); в местах заготовки допускаются потери до 10...15% древесины, еще больше — в процессе сплава леса по рекам; на деревообрабатывающих предприятиях в отходы списывается более 20 % древесины. В то же время лесовосстановительные посадки проводятся лишь на площади около 600 тыс. га. По сравнению с 1980 г. площади восстановления лесов сократились к началу 90-х гг. почти на четверть.

Особую опасность для лесных экосистем представляют пожары (до 80 % случаев — по вине человека), охватывающие в засушливые периоды значительные пространства. Это нарушает экологический баланс, разрушает до основания исторически сложившиеся биоценозы и приносит неисчислимые убытки. Такие пожары ежегодно возникают в таежных массивах Восточного и Западного полушарий, в эфиромасличных и хвойных редколесьях Средиземноморья (Испания, Португалия, Италия, Франция, Греция), в Австралии и других странах.

В России значительный ущерб наносят лесные пожары. В 1992—1998 гг.

среднегодовое число их составляло 26,1 тыс. Всего за указанный период пожарами было охвачено 9186 тыс. га. При этом сгорело и было повреждено на корню 272,8 млн м³ леса. Только в 1998 г. общий ущерб, причиненный лесному хозяйству пожарами, превысил 6,3 млрд руб.

Возрастающие объемы вырубki лесов для разнообразных нужд человека на всех континентах, а также пожары наносят глобальный экологический ущерб и подрывают основы лесовосстановления. Леса относят к возобновляемым ресурсам. В основе их возобновления лежит продукционный процесс растений (фотосинтез, дыхание, рост), обеспечивающий в условиях регламентированной хозяйственной деятельности человека формирование биологической продукции (в среднем 23-10 т в год), сохранение биоразнообразия лесных экосистем и благоприятных условий для жизни на Земле.

Ресурсы Мирового океана. Роль Мирового океана в функционировании биосферы как единой системы трудно переоценить. Водная поверхность океанов и морей покрывает большую часть планеты; при взаимодействии с атмосферой океанические течения в значительной мере определяют формирование климата и погоды на Земле. Все океаны, включая замкнутые и полузамкнутые моря, имеют непреходящее значение в глобальном жизнеобеспечении населения земного шара продуктами питания.

Морское рыболовство ежегодно дает 80...90 млн т рыбы и моллюсков; с 1950 по 1990 г. добыча рыбы увеличилась в 5 раз, мировой вылов рыбы на душу населения возрос с 8...9 до 18 кг.

Чрезмерный вылов морепродуктов с помощью современных навигационных и научно-технических средств, в том числе использования спутниковой информации, ведет к стремительному сокращению мировых рыбных ресурсов и деградации водных экосистем.

Значительный ущерб биологическим ресурсам океанов и морей наносит увеличивающееся антропогенное загрязнение, на 70 % обусловленное наземными источниками, включая большие и малые города, сбросы промышленных и строительных отходов, сельского, лес-

ного хозяйства и т. п. Немалую долю в загрязнение вносит быстро развивающееся судоходство за счет сброса бытовых отходов с кораблей в воду. Около 600 тыс. т нефтепродуктов ежегодно попадает в океаны и моря в результате морских перевозок, аварий и незаконного слива. Загрязняющие вещества создают главную угрозу для морской среды обитания.

Океаны и моря испытывают нарастающий экологический стресс из-за загрязнения, хищнического вылова рыбы и моллюсков, разрушения исторически сложившихся мест нерестилищ рыбы, ухудшения состояния берегов и коралловых рифов, вследствие этого сокращаются объем морских биологических ресурсов и их биоразнообразие.

В результате чрезмерного вылова оказались истощенными запасы рыбы многих видов. По оценкам ФАО, для четырех видов они практически исчерпаны, а для девяти — полностью использованы. К началу 80-х гг. XX в. в 11 основных районах лова рыбы (5 в Тихом океане и 6 в Атлантическом) популяции некоторых видов были практически сведены на нет. Специалисты оценивают «недолгов» в мире в целом в 11 млн т.

5.3. НАСЕЛЕНИЕ

Численность населения земного шара систематически возрастает, темпы его роста увеличиваются (табл. 5.3).

5.3. Население земного шара (Бааде, 1968)

Период	Рост, млн человек	Время удвоения численности, лет
7000-4500 до н.э.	С 10 до 20	2500
4500-2500 до н.э.	С 20 до 40	2000
2500-1000 до н.э.	С 40 до 80	1500
1000-0 до н.э.	С 80 до 160	1000
0-900 н.э.	С 160 до 320	900
900-1700	С 320 до 600	800
1700-1850	С 600 до 1200	150
1850-1950	С 1200 до 2500	100
1950-1990	С 2500 до 5000	40

В период 1965—1970 гг. темп роста населения Земли достиг беспрецедентного в истории пика — 2,1 % в год. Специалисты-демографы связывают это с успехами здравоохранения, улучшением санитарно-гигиенических условий жизни в развивающихся странах, отсут-

5.4. Динамика численности людей на Земле (млн человек) (Brown, Kane at al., 1994)

Регион	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
Мир в целом	2555	2779	3038	3345	3704	4086	4457	4856	5295
СССР	182	198	216	232	242	256	267	277	290
Россия	103	113	121	127	131	135	139	144	149

ствием в эти годы крупных военных конфликтов. Следствиями стали снижение смертности и увеличение продолжительности жизни людей.

Фактическая динамика численности населения планеты после 1950 г. представлена в таблице 5.4.

В 1982 г. население планеты увеличивалось со средней скоростью 146 человек в минуту, или 210 тыс. в день, или 77 млн в год. В 1986 г. общая численность людей на Земле достигла 5 млрд человек, в 1993 г. — 5,5 млрд. В 90-е гг. темп прироста населения на планете снизился до 1,7 % в год. По прогнозам демографов, к 2000 г. годовое увеличение численности людей составит 96...100 млн человек и на Земле будет жить более 6 млрд человек, к 2025 г. — 8,5 млрд человек.

В 1990 г. большинство людей в странах мира еще жило в сельской местности. По данным ФАО, в 70-е гг. заметно усилился процесс сокращения сельского населения за счет постоянно возрастающего перемещения людей в города: в странах Азии в среднем 0,8 % в год, в Африке — 0,7, в Европе — 0,6, в странах Северной и Центральной Америки — по 0,2%. В начале XXI в. рост городского населения в мире составит в среднем 1,6% в год. К 2030 г., по расчетам, городское население в мире будет в 2 раза превышать по численности сельское.

К 2100 г. население стран Африканского континента увеличится по сравнению с 1985 г. в 6 раз, стран Южной Азии — в 3,5 раза, Латинской Америки — в 3,2 раза, Северной Америки — в 1,3 раза, Европы — в 1,1 раза (Ковда, 1971). Однако темпы роста мирового населения в среднем будут снижаться с 1,7 % в 1990 г. до приблизительно 1 % в 2030 г. Численность людей на планете к 2050 г. стабилизируется на уровне 12,5 млрд человек, причем около 95 % прироста населения будет происходить за счет развивающихся стран. Снижение темпов роста населения планеты

специалисты связывают обычно с объективными причинами: ростом общечеловеческой культуры, возрастанием доли городских жителей, сокращением площади земли (в том числе пашни), приходящейся в среднем на человека, качественным ухудшением окружающей среды, истощением ископаемых энергетических ресурсов и эпидемиями.

Численность населения России в 1998 г. составила 147,1 млн человек. Примерно $\frac{1}{3}$ населения проживает в городах. Плотность населения по регионам России различна: например, в европейской части страны 27 человек на 1 км^2 , на Урале — 10,7, в Сибири и на Дальнем Востоке — менее 3 человек, а на Севере — всего 0,8 человека на 1 км^2 . Основная часть населения сосредоточена в зонах, почвенно-климатические условия которых наиболее благоприятны для жизни людей, а природные ресурсы обеспечивают формирование максимального количества первичной биологической продукции. Так, если в зонах тундры и южных пустынь в среднем за год формируется 0,15...0,25 кг растительной массы на 1 м^2 , в зоне тайги — 1,0...2,0, то в зоне широколиственных лесов — до 3,75 кг/ м^2 .

5.4. ПРОБЛЕМЫ ПИТАНИЯ ЛЮДЕЙ

Причины нехватки продовольствия. Проблемы обеспечения людей продуктами питания связаны не только с ресурсами биосферы, исторически сформировавшимися на тех или иных территориях, но и тесно переплетаются с социальными и политическими условиями каждой конкретной страны. Последние в значительной мере определяют развитие производительных сил и производственных отношений, уровень научно-технического прогресса, объем и качество выпускаемой продукции, а также характер ее распределения между членами общества.

5.5. Производство зерновых культур (Brown et al., 1994)

Регион	Годы								
	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
Мир в целом	<u>1,06</u>	<u>1,18</u>	<u>1,28</u>	<u>1,34</u>	<u>1,58</u>	<u>1,77</u>	<u>1,96</u>	<u>2,19</u>	<u>2,40</u>
	<u>631</u>	<u>759</u>	<u>847</u>	<u>878</u>	<u>1055</u>	<u>1218</u>	<u>1408</u>	<u>1570</u>	<u>1665</u>
СССР	<u>0,79</u>	<u>0,84</u>	<u>1,09</u>	<u>0,95</u>	<u>1,56</u>	<u>1,09</u>	<u>1,39</u>	<u>1,51</u>	<u>1,99</u>
	<u>82</u>	<u>107</u>	<u>125</u>	<u>121</u>	<u>187</u>	<u>141</u>	<u>176</u>	<u>178</u>	<u>218</u>
Россия	<u>0,72</u>	<u>0,77</u>	<u>1,07</u>	<u>0,90</u>	<u>1,56</u>	<u>1,01</u>	<u>1,29</u>	<u>1,45</u>	<u>1,85</u>
	<u>47</u>	<u>59</u>	<u>76</u>	<u>70</u>	<u>113</u>	<u>77</u>	<u>97</u>	<u>99</u>	<u>117</u>

Примечание. В числителе — урожайность, т/га; в знаменателе — валовой сбор, млн т.

При условиях равномерного распределения между людьми земельных ресурсов планеты на каждого жителя пришлось бы по 3 га, а валовой сбор всех зерновых культур в мире дал бы возможность полностью обеспечить биологические потребности человека в пище (табл. 5.5).

Однако резервы пахотных земель иссякают; освоение новых земель сдерживается неблагоприятными для растениеводства природными условиями (например, на сибирских равнинах из-за влияния вечной мерзлоты, в пампасах Южной Америки из-за засушливости климата, в некоторых регионах мира из-за сильнопересеченного горного рельефа и т. д.).

В 80-х гг. стала сокращаться и площадь орошаемых земель в мире в расчете на одного человека: с 0,053 га в 1980 г. до 0,049 га в 1990 г. Фактические различия в уровне питания людей на Земле весьма велики (табл. 5.6); более 1 млрд человек по-прежнему живут в условиях отчаянной нищеты, а сотни миллионов голодают.

5.6. Питание в различных регионах мира

Регион	Потребление на душу населения в день	
	продуктов в целом, ккал	белка, г
Азия	<u>2244</u>	<u>55,3</u>
	<u>161</u>	<u>9,6</u>
Африка	<u>2238</u>	<u>56,8</u>
	<u>171</u>	<u>12,2</u>
Западная Европа	<u>3327</u>	<u>95,2</u>
	<u>1042</u>	<u>51,8</u>
США	<u>3514</u>	<u>105</u>
	<u>1301</u>	<u>71,0</u>
Южная Америка	<u>2541</u>	<u>65,5</u>
	<u>453</u>	<u>27,9</u>

Примечание. В числителе — общее количество продуктов и белка, в знаменателе — то же, животного происхождения.

В среднем за 1995—1997 гг. энергетическая ценность суточного рациона населения России составляла 2228 ккал (из них животного происхождения — 664 ккал); в среднем россиянин потреблял 58 г белков, 75 г жиров и 327 г углеводов в день.

С 1990 по 2030 г. население мира увеличится на 3,7 млрд человек, что потребует удвоить производство продовольствия, в 3 раза увеличить выпуск промышленной продукции и выработку энергии. Затраты энергии на единицу производимой сельскохозяйственной продукции (удобрения, вода, электроэнергия, топливо для сельскохозяйственных агрегатов и т. д.) за последние 15...20 лет XX в. возросли в 10...15 раз, в то время как урожайность увеличилась всего на 20...35 %.

Как видно из таблицы 5.5, производство зерна в мире с 1950 по 1990 г. увеличилось более чем в 2,6 раза, средняя урожайность основных зерновых культур (пшеницы, кукурузы, риса, ржи, ячменя, сои, проса и сорго) также возросла, но темпы ее роста замедлились. Этот рост обеспечивался интенсивным применением удобрений в сочетании с развитием ирригации и достижениями селекции сельскохозяйственных культур, наиболее отзывчивых к орошению и минеральным подкормкам. Однако, по мнению специалистов, эффективность использования удобрений в мире близка к своему пределу; кроме того, суммарная площадь, занятая зерновыми культурами, стабилизировалась на уровне середины 80-х гг.

По данным ФАО, рост валовых сборов зерна в мире до середины 70-х гг. XX в. на 75 % обеспечивался за счет роста урожайности сельскохозяйственных

культур и только на 25 % благодаря расширению посевных площадей (FAO, 1981). В последующие годы увеличение производства продуктов питания обеспечивалось на 90 % в результате повышения урожайности сельскохозяйственных культур и лишь на 10 % в результате расширения посевных площадей. При этом стало очевидно, что интенсивная химизация сельскохозяйственного производства создает и новые экологические проблемы, связанные с загрязнением почвы, водоемов, атмосферы (особенно в условиях применения сельскохозяйственной авиации), вследствие чего снижается качество продуктов растениеводства и животноводства.

Если за 1950—1990 гг. повысилось обеспечение среднего жителя Земли зерном на 40 %, то в последующем производство зерна на душу населения стало падать. Значительно сократились мировые запасы зерна. Это привело к повышению цен на мировом рынке к началу 90-х гг. В результате в странах Африки среднее потребление продуктов питания (в расчете на душу населения) снизилось на 17 %, в Латинской Америке — на 7 %.

Снижение объемов производства продуктов питания для людей за последние годы объясняется следующими причинами: сокращением пригодных для производства зерна земель; недостатком пресной воды для орошения; снижением эффективности минеральных удобрений; падением содержания гумуса в корнеобитаемых горизонтах почвы; медленным развитием новых сельскохозяйственных технологий, в том числе по созданию высокоурожайных и неприхотливых сортов; значительным сокращением биологических ресурсов океанов и морей; глубокой деформацией окружающей среды (загрязнение, эрозия почв, опустынивание, аридизация климата и др.). По подсчетам экспертов, только из-за деградации сельскохозяйственной среды, без учета других причин, ежегодный недобор урожая зерновых культур составляет 14 млн т.

Снижение валовых сборов зерновых культур сразу отражается на продуктивности животноводства, поскольку в среднем на производство 1 кг мяса затрачивается 6...8 кг кормового зерна, а во

всем мире для откорма скота его расходуется более 600 млн т.

Очевидно, увеличение населения Земли, научно-технический прогресс, экономические различия между странами привели к углублению экологического кризиса на Земле: разрушению естественной биоты, сокращению биоразнообразия, деградации экосистем, увеличению потребления возобновляемых и невозобновляемых ресурсов биосферы. Таким образом, на пороге XXI в. человечество столкнулось с проблемами усиливающейся деградации экосистем, усугубляющими нищету и увеличивающими неравенство между промышленно развитыми и развивающимися государствами.

Основные направления преодоления экологического кризиса, улучшения социально-экономических условий жизни людей. Серьезным международным актом озабоченности мирового сообщества развитием экологического и социально-экономического кризисов на Земле явилась Конференция ООН по окружающей среде и развитию, состоявшаяся в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Конференция четко сформулировала главный тезис — о единстве окружающей среды и социально-экономического развития человеческого сообщества на Земле. Декларация, принятая на конференции, содержит главные принципы, на которых государства должны основывать свои будущие решения и политику, касающиеся последствий социально-экономического развития для окружающей среды.

«Повестка дня на XXI век», выработанная на конференции представителями 179 государств мира, — это суперпрограмма работы для всего человечества на следующее столетие, программа всемирного сотрудничества, направленная на гармоничное достижение двух целей — высокого качества окружающей среды и здоровой экономики для всех народов мира. Эту программу часто называют концепцией устойчивого и благоприятного развития.

В феврале 1994 г. Президент России подписал Указ «О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития».

Многие исследователи из различных стран мира пытаются на рубеже столетий разработать модели, освещающие возможные тенденции будущего социально-экономического развития и экологических последствий как для отдельных регионов, так и для мира в целом. Например, Международный институт прикладного системного анализа (МИПСА) в 1985 г. начал разработку проекта «Будущее окружающей среды в Европе» (на период до 2030 г.). В частности, в этом проекте авторы приводят вероятную динамику сельского хозяйства в европейских странах и на континенте в целом (табл. 5.7).

5.7. Прогноз развития сельского хозяйства в Европе и ее регионах на период до 2030 г. (Лосев и др., 1993)

Регионы Европы	1980 г.			2000 г.			2030 г.		
	пз	СП	У	пз	СП	У	пз	СП	У
Страны Скандинавии	3	10	3,3	2	9	4,5	2	10	5,0
Страны ЕЭС	27	120	4,5	18	98	5,4	13	82	6,3
Восточная Европа и европейская часть б. СССР	84	189	2,3	68	200	3,0	60	216	3,6
Австрия, Швейцария	1	5	4,5	1	6	5,5	1	6	5,8
Албания, Греция, Португалия, Испания	15	42	2,8	14	46	3,3	11	44	4,0
Европа в целом	130	366	2,8	103	359	3,5	87	378	4,2

Примечание. ПЗ — площадь сельскохозяйственных земель, млн га; СП — суммарная продукция, млн т; У — урожайность зерновых, т/га.

Ежегодный прирост урожайности зерновых культур составлял примерно 1 % до 2000 г.; предполагается, что в период 2000—2030 гг. из сельскохозяйственного оборота будет изъято более 40 млн га земель (3 % площади, занятой посевами зерновых в конце 90-х гг). В странах ЕЭС это сокращение составит около 50 %. Все это произойдет, по мнению авторов проекта, за счет развития новых биотехнологий и информационных технологий, что сделает сельскохозяйственные культуры более устойчивыми к заболеваниям и вредителям, к возможным изменениям климата. Предусмотрено значительное сокращение

применения всех видов пестицидов и минеральных удобрений.

Жизнедеятельность человека как биологического вида связана с потреблением определенного количества энергии, получаемой им с продуктами питания, и характеризуется работоспособностью и продолжительностью жизни. Специалисты выделяют три уровня жизнедеятельности человека в зависимости от количества потребляемой в сутки энергии: оптимальный — 3500... 2500 ккал, недостаточный — 2500... 1500 ккал, критический — 1500... 1000 ккал.

В среднем при потреблении энергии менее 1000 ккал в сутки продолжительность жизни людей составляет 35... 60 лет, при потреблении более 1500... 2000 ккал в сутки — 75...80 лет.

В группу основных продуктов, обеспечивающих 90 % калорийности питания, входят молочные, мясные, хлебные изделия, а также картофель, жиры, сахар. Самой острой по-прежнему остается проблема дефицита белка. Удовлетворение потребности человека в белке, потенциально пригодном в пищу, относится к проблеме качества питания. Медицински обоснованная суточная норма потребления белка—100г, оптимальная годовая норма — 35 кг, в том числе 21 кг животного белка. Мировое производство белка, по данным ФАО, за 18 лет (с 1961 по 1978 г.) возросло со 177 до 262 млн т, в том числе животного с 37 до 52 млн т. Производство животного белка в мире отстает от производства зерновых на несколько лет. Максимум его производства в среднем на одного жителя Земли был отмечен в 1988 г.

На Всемирной встрече на высшем уровне по проблеме продовольствия (Рим, 1996) было отмечено, что в мире регулярно недоедает 800 млн человек, в основном из развивающихся стран. На встрече, в частности, отмечалось, что уровень современных научных знаний о погоде, климате, водных ресурсах и агрономии позволяет в значительной степени решить проблему продовольственной безопасности подавляющего большинства стран мира. В Китае, где проживает 22 % населения Земли (более 1,1 млрд человек), а доля пахотных

земель составляет всего 7 % всей пашни в мире, устойчиво решается проблема питания людей. Страна вышла на первое место по валовому производству пшеницы (100 млн т в год). Вполне очевидно, что обеспечение продовольствием людей все больше становится проблемой не только сельскохозяйственной, но и торговой политики.

Продовольственная безопасность. В середине 90-х гг. XX в. впервые прозвучал тревожный вопрос о продовольственной безопасности России в связи с падением производства зерна (табл. 5.8), ростом импорта продовольственных товаров и уменьшением потребления продуктов питания населением страны.

5.8. Производство зерна в России, млн т

Культура	1990 г.	1993 г.	1994 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.
Пшеница	49,6	43,5	32,1	30,1	34,9	44,3	27,9
Ячмень	27,2	26,8	27,1	15,8	14,6	19,5	9,8
Рожь	16,4	9,2	6,0	4,1	5,9	7,5	3,3
Овес	12,3	11,6	10,8	8,6	8,3	9,4	4,7
Валовой сбор	127,0	99,1	81,3	63,5	69,3	88,3	47,9

Продовольственная безопасность — это состояние экономики, при котором гарантируется обеспечение доступа всех жителей страны и в любое время к продовольствию в количестве, необходимым для активной и здоровой жизни. В среднем считается, что государство не может гарантировать продовольственную безопасность населения, если суммарный импорт продуктов превышает 15 %. Критическим пределом продовольственной безопасности страны считается 50%-ная доля импорта продуктов, поскольку при прекращении импорта потребление продуктов питания населением сократится вдвое. На российском рынке доля импорта возросла с 22 % (1992 г.) до 45 % (1996 г.).

1998 г. оказался одним из самых неурожайных в России за период после 1963 г. Основной причиной недорода стала засуха, охватившая значительные площади посевов зерновых культур.

Россия обладает самым большим в мире потенциалом сельскохозяйственных угодий и при благоприятных условиях может не только решить проблему продовольственной безопасности, но и

стать экспортером сельскохозяйственной продукции, что напрямую зависит от структуры экономики и проводимой политики в стране.

По данным В. П. Зволинского и Д. М. Хомякова («Земледелие и рациональное природопользование», 1998), в 1997 г. уровень потребления продуктов питания в России снизился по сравнению с 1990 г. на 30...60 %. Общее количество продуктов питания на душу населения в год составляет в нашей стране порядка 700 кг, в то время как в развитых зарубежных странах — 900... 1000 кг. По уровню питания населения страна передвинулась с 7-го места в мире почти на 40-е. Это не могло не отразиться на состоянии здоровья населения и в значительной мере определило негативные тенденции в области демографии. По оценкам специалистов Департамента пищевой и перерабатывающей промышленности Минсельхозпрода РФ, примерно 40 % населения страны испытывает белково-калорийную недостаточность (недополучение энергии и белка в среднем 15...20 % нормы). Резко возросла витаминная недостаточность, уменьшилось потребление углеводов в виде овощей и фруктов.

По мнению специалистов Московского университета прикладной биотехнологии, проблема дефицита белка может быть решена в России путем использования ценных растительных белков. Например, производство сои требует в несколько раз меньше энергозатрат, чем производство эквивалентного (по содержанию белка) количества мяса, птицы и молока. Годовая потребность населения России в соевом белке для обогащения хлебной продукции составляет 100 т, в то время как закупают (по импорту) всего 12... 14 т; собственное производство сои в России пока ограничено.

Полноценное, сбалансированное по различным физиологическим критериям питание людей в условиях нарастающего загрязнения биосферы зависит не только от количества потребляемых продуктов, но и в значительной мере от их качества. Здоровье и благосостояние людей, надежное обеспечение их продуктами питания, социально-экономическое развитие человеческого сообще-

ства, а также состояние экосистем планеты подвергаются все возрастающему риску.

Решение экологических проблем, особенно в условиях возможного глобального изменения климата, как и спо-

собы обеспечения устойчивого развития сообщества людей на национальном, региональном и мировом уровнях, остаются актуальными задачами для нынешнего и будущих поколений людей на Земле.

Глава 6

ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА. РЕСУРСНЫЕ ЦИКЛЫ

●

6.1. ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Значение природы в сельском хозяйстве. Развитие агропромышленного комплекса базируется на научно обоснованном учете и рациональном использовании природных, технико-экономических, общественно-исторических и организационно-хозяйственных факторов сельскохозяйственного производства. При этом именно природные факторы являются естественной основой, базисом производства, а все остальные порождены самим общественным производством. Наилучшие результаты достигаются в том случае, когда обеспечивается близкое к оптимальному или оптимальное соотношение перечисленных факторов. В сельскохозяйственном производстве рациональная стратегия, целесообразная направленность хозяйственной деятельности существенным образом зависят от степени учета природного базиса (почва, вода, климат и т. д.).

В этом отношении примечательно суждение: «Труд *не есть источник* всякого богатства. *Природа* в такой же мере источник потребительских стоимостей... как и труд, который сам есть лишь проявление одной из сил природы, человеческой рабочей силы»*.

Как известно, первый, и главный, фактор экономического роста — это сами люди, население — источник основной производительной силы, трудо-

вых ресурсов. Второй фактор экономического роста — созданные людьми средства производства, индустрия, транспорт, сельское хозяйство, строительство. Третий фактор — природные ресурсы (земля и почва, климат, воды рек, морей и океанов, богатство недр, лес и другая растительность, животный мир).

Природные ресурсы, естественные ресурсы — часть всей совокупности природных условий и важнейших компонентов природной среды, которые используются либо могут быть использованы для удовлетворения разнообразных потребностей общества, поддержания условий существования человечества и повышения качества жизни. Они являются главным объектом *природопользования*, в процессе которого в интересах нынешнего и будущих поколений людей подлежат рациональной эксплуатации*. При этом процесс эксплуатации должен сочетаться с деятельностью по сохранению и улучшению качества природной среды, с комплексным решением многих важных проблем охраны природы в целом.

Классификация природных ресурсов. Природные ресурсы условно подразделяют на неисчерпаемые, исчерпаемые

*Основные направления природопользования включают: ресурсопотребление, конструктивное преобразование, воспроизводство природных ресурсов, охрану среды обитания и природных ресурсов, управление и мониторинг. Эти направления дифференцируются по видам природопользования.

• Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 19. С. 13.

возобновимые и исчерпаемые невозобновимые, на заменимые и незаменимые (рис. 6.1). По отношению к тем или иным компонентам природы различают следующие виды и группы природных ресурсов: геологические, минеральные, климатические, водные, земельные, биологические и т. д. В зависимости от характера использования в производственной и непроизводственной сферах выделяют минерально-сырьевые, топливно-энергетические, промышленные, сельскохозяйственные, продовольственные, оздоровительные, ландшафтно-курортные, рекреационные и другие природные ресурсы. Несомненный познавательный и практический интерес, особенно с экологических позиций, представляет характеристика природных ресурсов по источникам и местонахождению. При этом различают ресурсы: энергетические, атмосферные газы, водные, литосферы, растений-продуцентов, консументов, редуцентов, климатические, рекреационные, познавательно-информационные, пространства и времени.

Основные отличительные признаки природных ресурсов:

способность некоторых важных их видов в известных пределах и при определенных условиях к самовоспроизвод-

ству (саморегулированию) количества и качественного состояния;

способность переходить из одного качественного состояния в другое в результате естественной эволюции и под воздействием человека;

связь конкретных состояний и оценок природных ресурсов с условиями жизнедеятельности человека, зависимость качественных состояний от технологического способа, характера, интенсивности производственной и непроизводственной деятельности людей;

зависимость (количественная и качественная) каждого природного ресурса от других.

Принципы рационального использования природных ресурсов:

соответствие характера и способов использования конкретным местным условиям;

предвидение и предотвращение негативных последствий природопользования;

повышение интенсивности освоения;

сохранение научных и эстетических ценностей;

соблюдение целесообразной, экономически обоснованной очередности хозяйственного освоения;

комплексное использование;



Рис. 6.1. Классификация природных ресурсов

уменьшение или устранение потерь на всех этапах природопользования;

всемерная экологизация производственных процессов.

Природный потенциал. От природных ресурсов следует отличать *природные условия* — совокупность объектов, явлений и факторов природной среды. Природные условия имеют существенное значение для материально-производственной и непродуцированной деятельности человека, но непосредственно в нее не вовлекаются. Человек может в определенных масштабах изменять или целенаправленно корректировать природные условия (главным образом отдельные их компоненты). Нерегулируемая антропогенная деятельность приводит к изменениям природных условий, в том числе нежелательным; при этом изменения могут охватывать значительные пространства (пример — опустынивание).

Сочетание природных условий и ресурсов формирует природно-ресурсный (природный) потенциал. *Природный потенциал* — мера потенциальной способности какой-либо природной системы (территории, биогеоценоза, природного объекта и т. д.) удовлетворять многообразные потребности общества. Применительно к той или иной территории о ее природно-ресурсном потенциале судят главным образом по степени разнообразия природных условий, набору, количественному и качественному составу и доступности природных ресурсов, степени соответствия показателей качества среды принятым нормам и стандартам.

Экологический потенциал территории — это способность природной среды воспроизводить определенный (заданный) уровень качества обитания в течение длительного периода. Экологический потенциал — часть природно-ресурсного потенциала.

В сельскохозяйственное производство прямо или косвенно вовлечены практически все виды природных ресурсов. При этом выделяют группу базовых ресурсов, куда в первую очередь входят климатические (агроклиматические), водные, земельные, биологические и генетические ресурсы.

Климатические ресурсы. Академик

Е. К. Федоров как-то заметил, что климат и водные ресурсы нашей страны всегда предоставляли народам, ее населяющим, широкие возможности для развития многоотраслевого хозяйства, но постоянно требовали внимательного к себе отношения. Беспрестанная изменчивость метеорологических (агрометеорологических) условий порождала и порождает различные, отнюдь не всегда желательные, ситуации в земледелии и животноводстве. Только на основе всестороннего учета погоды и климата можно избежать ошибок при решении широкого круга задач развития аграрного сектора, обеспечить действенную экологизацию агропромышленного комплекса.

В 50—60-е гг. XX в., когда метеорологическая ситуация в мире в целом была благоприятной для производства зерна, в отечественной и зарубежной литературе появились публикации, в которых утверждалось, что достигнутый уровень культуры земледелия позволяет считать сельское хозяйство независимым от условий погоды. Последующие годы показали всю несостоятельность тезиса о независимости от погодных условий. Погода по-прежнему остается лимитирующим фактором в сельском хозяйстве всего земного шара. Более того, усилившаяся антропогенная деятельность привела даже к некоторому учащению засух и других неблагоприятных явлений, что повлияло на экономику и запасы продовольствия. Не случайно на Всемирной конференции по климату (1979) отмечалось, что прогресс в сельском хозяйстве в долгосрочной перспективе будет определяться научно-техническими достижениями не только в биологии и технике, но и в области совершенствования методов получения и учета в сельском хозяйстве информации о погоде и климате. Правомерно полагать, что с повышением научно-технического уровня сельского хозяйства роль метеорологических факторов возрастает.

Агроклиматический потенциал в России ниже, чем в других странах. Прежде всего это видно при сравнении среднегодового количества осадков в нашей стране и за рубежом (рис. 6.2).

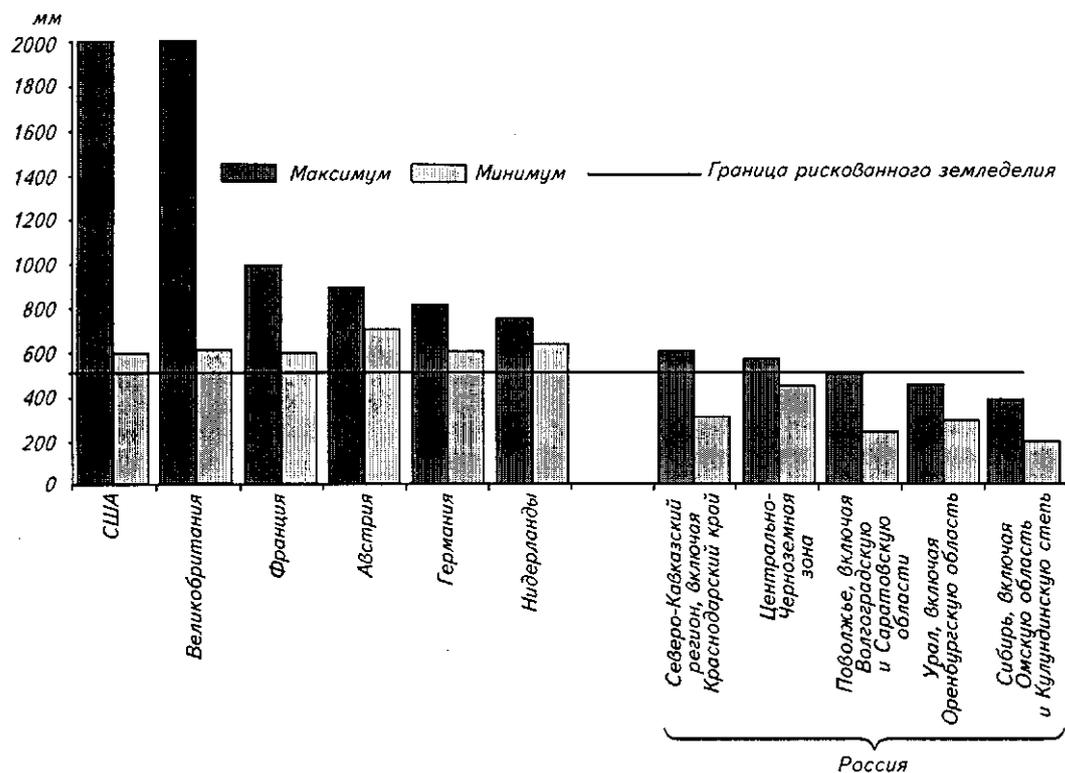


Рис. 6.2. Среднегодовое количество осадков (мм) по основным сельскохозяйственным территориям (Кондратенко, Бекетов, 1999, с изменениями)

Суровые климатические условия влияют на затраты при производстве продукции, на жизнеобеспечение самого человека. Это необходимо учитывать при сравнении эффективности нашего и зарубежного сельского хозяйства.

Гидрометеорологическая (агроклиматическая) информация в сельском хозяйстве используется в первую очередь при планировании. Она необходима и при прогнозировании (в том числе при прогнозировании урожая). Текущее планирование, при котором целесообразно привлекать климатическую информацию, направлено на решение таких задач, как проведение полевых работ (сев, обработка полей, внесение удобрений, уборка, полив и др.). В данном случае необходимо знать, какие условия складываются в период проведения определенных работ, нужно ли переносить сроки их проведения, какие отклонения от нормы могут возникнуть в темпах развития растительных сообществ и др.

Оценка климатических ресурсов на далекую перспективу связана с организацией и проведением крупномасштабных мелиоративных мероприятий, со специализацией сельского хозяйства, размещением сельскохозяйственных культур, в том числе и в тех районах, где ранее их не выращивали, с внедрением новых технологий и т. д.

При оценке и учете метеорологических (агрометеорологических) условий и климатических (агроклиматических) ресурсов целесообразно обращать внимание на следующее:

учет должен осуществляться в единой системе природные ресурсы — производственные условия;

агрометеорологическая информация должна быть дифференцированной, т. е. должна удовлетворять запросы как центральных, так и местных сельскохозяйственных и других организаций;

при подготовке информационных материалов необходимо учитывать мес-

тные условия (рельеф, физические и химические свойства почвогрунтов, обеспеченность территории, наличие вблизи крупных водоемов), влияющие на общеклиматические факторы;

поскольку климат, территориальные природные комплексы и сельскохозяйственное производство тесно взаимосвязаны, то различные агроклиматические показатели условий роста, развития, перезимовки растений должны отражать эту связь;

для учета и рационального использования климатических ресурсов важно соблюдать соответствие классификаций климата классификациям сельскохозяйственного производства, т. е. классификация климата по теплообеспеченности должна быть адекватной классификации культур по их требованиям к теплу, классификация продуктивности климата — классификации культур по их продуктивности и т. д.

Агроклиматическое районирование должно отражать существующие природно-сельскохозяйственные комплексы.

В нашей стране накоплены обширная и во многом уникальная учебная, научная, справочная и методическая литература, многоплановая статистическая информация по вопросам учета погоды и климата в сельском хозяйстве. Важно умело и конструктивно использовать имеющийся информационный багаж.

Водные ресурсы. Значение воды на всех стадиях производства сельскохозяйственной продукции общеизвестно. В 1997 г. на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение в России приходилось $\frac{1}{3}$ % всей использованной воды (12 км³).

Предотвратить истощение и загрязнение водных ресурсов призваны экологизация промышленного и сельскохозяйственного производства и городского хозяйства, очистка природных и сточных вод, мелиоративные мероприятия.

Для экологизации производства следует: размещать новые объекты в соответствии с наличными водными ресурсами и допустимыми экологическими нагрузками на природную среду (в том числе на перспективу);

сокращать удельное водопотребление; переходить к системам оборотного водоснабжения и последовательного использования воды в пределах одного предприятия; использовать отработанные воды для нужд других предприятий; совершенствовать технологию производства (замена водяного охлаждения испарительным и воздушным); внедрять отдельные системы очистки сточных вод; извлекать ценные составляющие из отходов производства и сточных вод; применять меры экономического воздействия (вводить плату за потребляемую и сбрасываемую воду).

Особое место в предотвращении истощения и загрязнения природных вод принадлежит мелиоративным мероприятиям. Осуществление большинства из них требует значительных средств и времени. При проведении мелиорации необходимо в совершенстве знать все природные процессы и степень их изменчивости в зависимости от видов и масштабов антропогенного воздействия.

К важнейшим мелиоративным мероприятиям относят: размещение посевов культур с учетом водообеспеченности речных бассейнов, областей и районов; оптимизацию использования удобрений и пестицидов для предотвращения загрязнения поверхностных и подземных вод (особенно на вновь осваиваемых землях); сокращение оросительных и поливных норм; уменьшение потерь воды на фильтрацию, испарение и непродуцируемые сбросы; внедрение наиболее прогрессивных способов увлажнения почв; дальнейшее развитие осушительных систем двустороннего действия, а также разработку и внедрение мелиоративных систем двустороннего действия с частично замкнутой циркуляцией воды; предотвращение переосушения мелиорированных территорий, в особенности торфяников; улучшение водоприемников с осуществлением комплекса природоохранных мероприятий; развитие польдерных систем осушения; проведение мер по охране малых рек, в том числе поддержание в них необходимых санитарных расходов и обеспечение самоочищающей способности; рацио-

нальное использование водохранилищ и поддержание в них надлежащего качества воды, многоцелевое использование мелководий; осуществление комплексной программы по борьбе с вредным воздействием вод (наводнения, селевые потоки, оползни, переработка берегов, водная эрозия и т. д.); сохранение почвенного покрова и его рекультивация на объектах мелиоративного строительства; создание комплексных мелиоративных систем с учетом интересов водоснабжения, рыбовод-

ства, рекреации и т. п., а также систем, обеспечивающих утилизацию межотраслевых отходов производства; проведение лесоохранных мер, направленных на количественное и качественное регулирование водных ресурсов.

Земельные и почвенные ресурсы. О земельных и почвенных ресурсах России, их разнообразии можно судить по материалам таблицы 6.1. Земельно-почвенные ресурсы нашей страны характеризуются крайне неблагоприятным состоянием. Год от года падает их качество,

6.1. Распределение земельных угодий по природным зонам Российской Федерации (государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1997 г.»)

Природная зона	Площадь зоны		Структура почвенного покрова		Обле-сен-ность, %	Сельскохозяйственные угодья, % территории зоны		
	млн га	%	Преобладающие типы почв	Пло-щадь, млн га		всего	пашня и многолет-ние на-саждения	кормо-вые угодья
Полярно-тундровая	197,8	11,6	Арктические и полярно-пустынные Тундрово-глебовые и тундрово-иллювиально-гумусовые Болотные	2,5 132,5 17,5	—	0,03	—	—
Лесотундрово-северо-таежная	233,6	13,7	Глееподзолистые и подзолистые Иллювиально-гумусовые Глемерзлотно-таежные Болотные	119,0 82,5 22,5	37,7	0,5	—	—
Среднетаежная	222,8	13,0	Подзолистые Мерзлотно-таежные Болотно-подзолистые Болотные	91,0 80,5 21,0 20,5	76,4	—	—	—
Южнотаежная	245,4	14,3	Дерново-подзолистые Буротаежные Бурье лесные Болотно-подзолистые Болотные	157,5 27,0 10,5 18,0 24,0	57,6	17,3	10,4	6,9
Лесостепная	127,7	7,5	Серые лесные Черноземы оподзоленные Выщелоченные и типичные лугово-черноземные Болотные	41,0 45,0 13,5 5,0	27,5	57,2	40,6	16,6
Степная	79,9	4,7	Черноземы обыкновенные и южные Лугово-черноземные Солонцы и солонцовые комплексы Болотные	52,0 11,5 11,0 3,5	—	73,3	47,3	26,0
Сухостепная	22,2	1,3	Темно-каштановые и каштановые Солонцы и солонцовые комплексы, солончаки Светло-каштановые и бурье полупустынные Горные почвы	11,0 10,5	—	85,5	51,8	33,7
Полупустынная	14,7	0,9		14,5	—	75,9	13,5	62,4
Горные территории с вертикальной зональностью почвенно-растительного покрова	565,7	33,0		—	62,7	7,6	1,5	6,1

что вызвано изъятием земель, нарушениями земельных площадей и почвенного покрова, вторичным засолением, эрозией и дефляцией, опустыниванием и заболачиванием, потерями гумуса, а также антропогенным загрязнением.

На ненарушенных территориях почвенный слой деградирует из-за выпадения загрязняющих веществ, которые деформируют сообщества почвенных организмов. В результате меняются структура почвы, состав веществ в ней, ухудшается способность минерализовать органические остатки и т. д.

Естественные биологические ресурсы. Для поддержания среды обитания человека — обеспечения должного качества необходимых для его жизни газового состава атмосферы, химической среды, водного баланса, биологической продуктивности и др. — необходимо сохранение генофонда всех живых организмов. Живые организмы служат источником удовлетворения потребностей общества в продуктах питания, одежде, лекарственном и промышленном сырье, строительных материалах и т. д. Возобновляемость ресурсов живой природы обеспечивает принципиальную возможность (при разумной организации) бесконечного их использования без истощения.

Сохранению подлежат все без исключения виды и подвидовые формы живых существ не только в качестве незаменимых частей механизма обмена веществом и энергией в биосфере, но и как носители уже используемых или потенциально полезных для общества свойств.

Огромное значение сохранение генофонда живых организмов имеет для развития сельского хозяйства. Живые организмы, обеспечивая процессы обмена в биосфере, поддерживают необходимые для сельскохозяйственного производства условия — плодородие почв, формирование местного климата, гидрологический режим почв, регулируют численность вредителей.

Генофонд живых организмов служит исходным материалом для введения в культуру и одомашнивания новых форм и видов. Особую ценность представляет фонд диких сородичей культурных растений. Растительность земного шара

имеет в резерве многие ценные виды, не использованные человеком. Многие дикие сородичи культурных растений не потеряли значения для селекции. При скрещивании с сортами культивируемых растений они могут дать начало более жизнеспособным, урожайным, стойким к заболеваниям сортам. На земном шаре насчитывается около 2000 видов непосредственных диких сородичей культурных растений (т. е. видов, встречающихся и в дикой природе, и в культуре), в том числе около 600 видов, относящихся к 130 родам и 38 семействам, — на территории СНГ. Среди них дикие сородичи наших зерновых, бобовых, ягодных, плодовых, орехоплодных, масличных, технических, многих кормовых и других культур.

Например, существует 43 диких вида груши, по 26 видов вишни и смородины, 24 — люцерны, 19 — клевера, 18 — лука и яблони, по 11 видов эгилопса, пырея и чины, 9 — ржи, по 8 — пшеницы, лещины и капусты, по 6 — овса и свеклы, по 5 — абрикоса, винограда, вики, гороха и проса, 4 — редьки, по 3 — ячменя, чечевицы и т. д. Большинство видов дикорастущих сородичей культурных растений относятся к семействам Розоцветные, Бобовые и Злаковые.

Особое внимание необходимо уделять охране генофонда диких сородичей культурных растений и животных. Для охраны генофонда применяют различные методы: объявление вида охраняемым (запрет или строгое ограничение использования); содержание в питомниках различного типа; сохранение семян и тканей в специальных хранилищах; расселение за пределы естественного ареала; взятие под охрану отдельных экземпляров (генотипов).

Однако перечисленные методы не гарантируют бессрочного сохранения наследственного материала. Перенесение в новые условия (питомники, расселение) ведет к утрате специфичности в связи с адаптацией к новым условиям. Семена не всех видов сохраняют жизнеспособность при длительном хранении. Кроме того, если рассчитывать на длительную перспективу, то растения, выращенные из семян, собранных много лет назад и пересевавшихся на одном

агрофоне, могут оказаться неприспособленными к изменившимся условиям.

Запрет добычи сам по себе без сохранения условий обитания ничего не дает. Если будут разрушены места обитания, исчезнут и свойственные им растения, животные и микроорганизмы.

Единственный метод, гарантирующий бессрочное сохранение генофонда, — сохранение живых организмов в их естественной среде обитания, т. е. в заповедниках. В данном случае сохраняется вся система взаимосвязей популяции вида с условиями его обитания. Тем самым обеспечивается соответствие сменяющихся друг друга поколений среде, свойственной именно этому виду, формировавшей его в процессе эволюции именно как данный вид или форму. При этом сохраняются специфические свойства того или иного организма, которые и являются тем ценным для общества, что необходимо сохранить. Именно ради сохранения специфических особенностей отдельных видов и форм, полезных для общества, и осуществляется охрана генофонда.

Основные причины утраты генофонда: прямое уничтожение, разрушение и уничтожение мест обитания, физико-химическое загрязнение, генетическое загрязнение, интродукция чуждых организмов.

Грамотное комплексное использование природно-ресурсного потенциала сельского хозяйства — важнейшая предпосылка его экологизации. При этом необходимы соответствующее материально-техническое обеспечение, организация определенной производственной и социальной инфраструктуры. Например, в Канаде во второй половине 80-х гг. XX в. дотация из бюджета составляла 96,7 % фермерской цены на молоко, а в США бюджетные ассигнования сельскому хозяйству равны примерно половине затрат населения на продукты питания (около 200 долларов США в месяц на человека). Бюджетные ассигнования сельскохозяйственного назначения в 1979—1981 гг. в странах ЕЭС составляли 781 доллар США в расчете на 1 га сельскохозяйственных угодий, в 1984-1986 гг. — 1099 долларов, в Японии — соответственно 5412 и 11 319 долларов США. В США в 1990 г. на одного

фермера работало 2 человека в сфере производства машин, удобрений и т. д. и 5 человек — в сфере транспорта, хранения, переработки, сбыта продукции. В СССР же на одного колхозника работало 0,33 человека в первой сфере и 0,16 — во второй.

6.2. РЕСУРСНЫЕ ЦИКЛЫ

Взаимодействие природы и общества.

При рассмотрении биосферных проблем основное внимание обычно обращают на исследования преимущественно природных систем и происходящих в них процессов (естественных и искусственных), а также на их последствия для человечества. Деятельность же человека в данной связи рассматривается преимущественно в форме внешнего воздействия. Между тем для достижения необходимой сбалансированности в развитии природы и общества необходимо исследовать характер и направленность взаимодействия между этими специфическими разнокачественными системами, все более глубоко проникающими друг в друга.

При всем многообразии форм и сторон взаимодействия природы и общества главенствующая роль среди них принадлежит процессу обмена веществ, который связывает человека с окружающей природной средой. Активным началом в этом процессе является человек, который «...своей собственной деятельностью опосредствует, регулирует и контролирует обмен веществ между собой и природой»*.

Поскольку человек в этом взаимодействии выступает не просто как биологическая особь, а всегда как член общества, то и процесс обмена веществ приобретает форму взаимодействия между природой и обществом. Очевидно, что со становлением и развитием общества связано не просто появление еще одной ветви биологического круговорота, а формирование специфического общественного звена в общем круговороте веществ на Земле. Речь идет именно о звене общего круговорота, так как люди, извлекая из природной среды

*Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 23. С. 188.

необходимые вещества и придавая им пригодную для потребления форму, возвращают их в природу в том или ином трансформированном (иногда радикально) виде и, как правило, не в места бывшей локализации, а в совершенно иные. Удерживается лишь часть извлекаемого природного материала в виде орудий труда или многократно используемого оборотного фонда (лом металлов, обратная вода и т. п.). «Продукты возврата», присущие различным стадиям многообразных производственных процессов, и являются в сущности веществами, загрязняющими окружающую природную среду.

Понятие «ресурсный цикл». Для анализа, оптимизации и прогнозирования обмена веществ между обществом и природой И. В. Комаром (1975) была разработана концепция ресурсных циклов. Обмен веществ между обществом и природой носит хорошо выраженный характер полициклического процесса. Суммарный поток можно расчленить на отдельные ресурсные циклы.

Ресурсный цикл — это совокупность превращений и пространственных перемещений определенного вещества (или группы веществ), происходящих на всех этапах использования его человеком (включая выявление, подготовку к эксплуатации, извлечение из природной среды, переработку, потребление, возвращение в природу) и протекающих в рамках общественного звена общего круговорота данного вещества (или веществ) на Земле. Ресурсные циклы различаются по виду главного участвующего в них вещества или сочетания веществ. Причем каждый цикл обычно «обрастает» рядом сопутствующих и побочных подциклов, которые развиваются на базе двустороннего использования основного ресурса и дополнительно вовлекаемых в хозяйственный оборот первичных природных материалов. Слово «цикл» подразумевает замкнутость процесса. В природе, как известно, все вещества циркулируют в замкнутых биогеохимических циклах. Ресурсный же цикл, который называют еще и «антропогенным круговоротом вещества», фактически не замкнут; на каждом его этапе неизбежны потери.

Виды ресурсных циклов. Различают 6

основных ресурсных циклов с подциклами:

цикл энергоресурсов и энергии с подциклами энергохимическим и гидроэнергетическим;

цикл металлорудных ресурсов и металлов с коксохимическим подциклом;

цикл неметаллического ископаемого сырья с группой подциклов — горнохимическим, минеральных стройматериалов, особенно ценных и редких нерудных полезных ископаемых;

цикл лесных ресурсов и лесоматериалов с лесохимическим подциклом;

цикл почвенных и климатических ресурсов и сельскохозяйственного сырья;

цикл ресурсов фауны и флоры с серией подциклов, формирующихся на базе биологических ресурсов, вод, ресурсов охотничьего хозяйства и полезных дикорастущих растений.

Среди перечисленных ресурсных циклов важнейшее место принадлежит циклу почвенных и климатических ресурсов и сельскохозяйственного сырья, который обеспечивает жизнь человека как биологического вида, поставляя продукты земледелия и животноводства (с заключенной в их органическом веществе энергией), а отчасти ресурсы, необходимые человеку как социальному существу. Это один из древнейших по времени возникновения циклов. По массе извлекаемых из природной среды нужных человеку продуктов и по широте взаимодействия с окружающей природой он занимает одно из первых мест среди всех ресурсных циклов. Характерная его особенность — превращение вовлеченных в результате деятельности человека веществ и энергии уже на начальных стадиях, еще в рамках природных экосистем (ставших теперь в той или иной мере антропогенными), в форму, пригодную для последующего усвоения.

Функционирование этого и других циклов (лесных ресурсов, фауны и флоры), базирующихся на возобновимых природных ресурсах, осуществляется при довольно-таки низком коэффициенте полезного использования первичных веществ и энергии. Иллюстрацией к сказанному может служить схема использования годичной продукции фо-

тосинтеза на территории США (рис. 6.3). Во всем мире только 2...3 % фитобиомассы, продуцируемой ежегодно путем фотосинтеза на суше, используется человеком. Из всей биомассы, получаемой на полях и пастбищах, в пищевых целях люди потребляют лишь около 9 %.

Рассматриваемый ресурсный цикл может быть существенно интенсифицирован путем повышения коэффициента полезного использования участвующих в нем веществ и энергии (в том числе водных ресурсов, энергии Солнца) за счет вовлечения в этот круговорот новых количеств питательных веществ и других элементов, более продуктивных растений и животных, максимального учета специфики географической среды и др. По сути, экологизация сельского хозяйства и направлена на оптимизацию цикла почвенно-климатических ресурсов и сельскохозяйственного сырья.

В целом же совершенствование каждого ресурсного цикла на всех его этапах — основа охраны окружающей природной среды, использования природных ресурсов без их истощения.

Эффективность использования природных ресурсов. Совершенствовать приемы освоения природно-ресурсного потенциала — значит повышать эффективность использования природных ресурсов по всей цепи, соединяющей природные ресурсы, продукцию, получаемую на их основе, и конечные стадии технологических процессов, связанных с преобразованием природного вещества. Важный показатель эффективности — природоемкость. На макроуровне, т. е. на уровне всей экономики, природоемкость (E_m) рассчитывают как отношение затрат используемых природных ресурсов или ресурса (P) к валовому внутреннему продукту (ВВП) или национальному доходу (НД):

$$E_m = P/\text{ВВП}.$$

Расход природных ресурсов (ресурса) на единицу валового внутреннего продукта (национального дохода) можно выражать в стоимостной (руб/руб.) или в натурально-стоимостной форме (т/руб. и т. д.).

На отраслевом уровне природоем-

кость (E^0) рассчитывают как расход природного ресурса (P) на единицу конечной продукции (D), произведенной при использовании этого ресурса (количество земли, необходимой для получения 1 т зерна, количество древесины, требуемой для производства 1 т бумаги, и пр.):

$$E^0 = P/D.$$

Чем меньше природоемкость, тем эффективнее процесс преобразования природного вещества в продукцию, меньше отходы и загрязнения. Известен показатель природной ресурсоотдачи (O), обратный коэффициенту природоемкости:

$$O = D/P.$$

Природоемкость и природную ресурсоотдачу можно рассчитывать на уровне предприятий, фирм, концернов и т. д.

Как отмечает Т. С. Хачатуров с соавт. (1991), рост природоемкости в первую очередь проявляется в дефиците природных ресурсов. В результате приходится дополнительно вовлекать в производственный процесс новые природные ресурсы (экстенсивное расширение природной базы экономики). Кроме того, ограниченность в возможностях привлечения новых ресурсов, характерная для большинства отраслей и регионов страны, вызывает резкий рост нагрузки на ресурсы, находящиеся в использовании. Частым следствием этого в условиях экстенсивного развития при сохранении технологического уровня становятся постепенное истощение и деградация ресурсов, что еще больше обостряет экономическую и экологическую ситуацию. Важнейшая задача — снижение природоемкости, ее минимизация:

$$E \rightarrow \min.$$

Для уменьшения природоемкости, с одной стороны, следует сокращать или стабилизировать потребление природных ресурсов, а с другой — увеличивать выпуск продукции за счет совершенствования технологий, внедрения малоотходного и ресурсосберегающего производства, использования вторичных ресурсов и отходов. Таким образом должен формироваться природосберегаю-

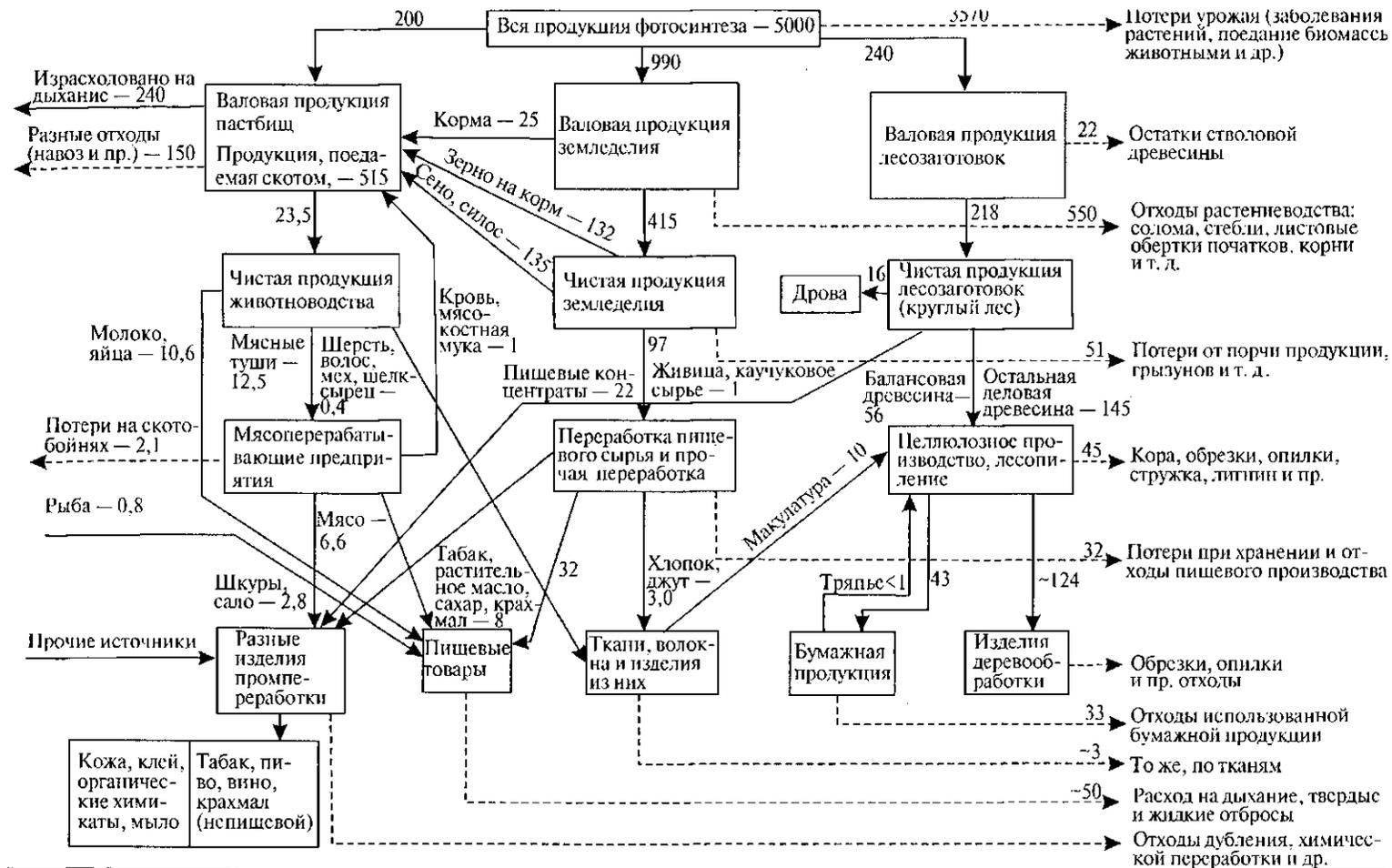


Рис. 6.3. Схема использования годовой продукции фотосинтеза (на примере США), млн т сухого вещества (сплошные стрелки — распределение продукции, прерывистые — остатки, отходы и потери) (Комар, 1975)

щий вид деятельности. В нашей стране затраты природных ресурсов чрезмерно велики. Как свидетельствует опыт развитых стран, природоемкость может быть существенно снижена.

Наряду с рассмотренными представляют интерес и другие показатели. Экологоемкость (Θ) — уровень вредных воздействий на окружающую среду (H^n) в расчете на единицу полезной продукции или услуги (P^n), получаемой с помощью данного процесса:

$$\Theta = H^n / P^n.$$

Ресурсоемкость процесса — расход энергии, воды, воздуха, земельных и иных природных ресурсов (R^n) в расчете на единицу полезной продукции или услуги, получаемой на основе данного процесса:

$$M = R^n / P^n.$$

По содержанию ресурсоемкость близка к отраслевой (продуктовой) природоемкости.

Коэффициент экологичности объекта представляет собой отношение чисто полезного эффекта ($P^n - H^n$) к израсходованным природным ресурсам:

$$K_{\Theta} = \frac{P^n - H^n}{R^n}.$$

Коэффициент экологичности при материально-энергетическом подходе к определению параметров экологической эффективности характеризует степень замкнутости данного технического процесса. Так, при $K_{\Theta} = 1,0$ происходит разрушение природного потенциала без какого-либо полезного эффекта.

6.3. КАДАСТРЫ

Необходимое условие научно обоснованного освоения природно-ресурсного потенциала, рационального использования природных ресурсов — наличие всесторонней информации. Источником такой информации служат кадастры. *Кадастр* — систематизированный свод сведений, количественно и качественно характеризующих определенный вид природных ресурсов или явлений, в ряде случаев с их экономической или социально-экономической

характеристикой и оценкой изменений под влиянием преобразующей деятельности человека, с рекомендациями по рационализации использования ресурсов и необходимым мерам их охраны.

Земельный кадастр — свод сведений о природном, хозяйственном и правовом положении земель. Ведется по единой системе. Включает данные регистрации землепользования, учета количества и качества земель, бонитировки почв и экономической оценки земель. Приводимые данные необходимы для организации эффективного использования и охраны земель, прогнозирования изменений количественного и качественного состояния земельных ресурсов, планирования, размещения и специализации сельского хозяйства, мелиорации земель и решения других хозяйственных задач.

Водный кадастр — систематизированный свод сведений о водных ресурсах страны. Содержит данные учета вод по количественным и качественным показателям, их потреблению и использованию. Составляется по регионам или бассейнам. Материалы его используются при планировании, проектировании и управлении объектами водного хозяйства, находят широкое применение в прогнозировании изменений и практике охраны водных ресурсов.

Лесной кадастр — систематизированный свод достоверных сведений о природном, хозяйственном и правовом положении лесов. Он содержит данные учета лесного фонда по количественным и качественным показателям, включая прямые и побочные пользования. Эти материалы необходимы при планировании и организации рационального лесопользования, при проведении других хозяйственных мероприятий, связанных с использованием лесов и земель лесного фонда, находят широкое применение в прогнозировании изменений и практике охраны лесных ресурсов.

Промысловый кадастр — свод данных о тех или иных объектах промысла, содержащий их качественную и количественную характеристику, сведения о динамике восстановления, допустимых нормах изъятия и т. п. Составляют кадастры охотничьих, рыбных ресурсов и т. п.

Детериорационный кадастр — свод сведений об ухудшении состава и состояния окружающей человека природной среды (уровнях и источниках загрязнения атмосферы, вод и почв, нарушенных землях, иных негативных изменениях, возникших в природе). Составляется по регионам. Содержащиеся в кадастре материалы особенно ценны для разработки мероприятий по рационализации использования природных ресурсов, оптимизации вмешательства в природную среду, определения круга необходимых природоохранных мероприятий и путей улучшения качества окружающей среды.

В соответствии с Федеральной целевой научно-технической комплексной программой «Кадастры природных ресурсов» формируются комплексные территориальные кадастры природных ресурсов (КТКПР). В такой кадастр входит, во-первых, банк территориально-организованных данных о природно-ресурсном потенциале конкретной административной единицы и об экологической ситуации (в заданный момент времени) и, во-вторых, автоматизированная система сопоставления этих данных для принятия управленческих решений в сфере природопользования (формы пользования, ограничения, плата за ресурсы, налоги и т. п.). Исходя из функций, выполняемых КТКПР, его структуру можно представить в виде следующих условных блоков:

1. Блок количественной и качественной оценки, в котором показаны натурально-вещественный состав каждого природного ресурса и его количество по

соответствующим категориям качества, а также динамика использования ресурса по контурам.

2. Блок адресно-правовой. В нем содержится информация о структуре размещения ресурсов, статусе и о субъектах владения, распоряжения и пользования природным ресурсом (объектом).

3. Блок оценки состояния окружающей среды, в котором показаны динамика экологической обстановки внутри региона, ее связь с использованием природных ресурсов, а также качественные и количественные параметры состояния различных природных ресурсов. Другими словами, показаны экологические ограничители использования каждого природного ресурса.

4. Блок экономической оценки, отражающий место и роль ресурса в системе производственной деятельности и являющийся базой для определения платы за пользование природным ресурсом.

5. Сводный блок социально-экономической оценки природно-ресурсного потенциала территории с критериями выбора вариантов его использования и формирования сценариев развития экологической ситуации в зависимости от выбранных вариантов.

Ведение комплексных территориальных кадастров природных ресурсов осуществляется на компьютерной основе. Территориальная ориентация кадастровых работ связана со значительным расширением объема аэрокосмических и картографических сведений. Важно также адаптировать разрабатываемую кадастровую информацию к требованиям геоинформационных технологий.

Глава 7

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ (АГРОЭКОСИСТЕМЫ)



7.1. РОЛЬ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В ФОРМИРОВАНИИ ПЕРВИЧНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Биопродуктивность агроэкосистем. В процессе взаимодействия с природой че-

ловечество постоянно решало первейшую задачу жизнеобеспечения — производство продуктов питания (единственного источника получения человеком энергии). «Производство продуктов питания является самым первым условием

жизни непосредственных производителей и всякого производства вообще...»*.

Не случайно одна из древнейших отраслей не только сельскохозяйственного производства, но и производственной деятельности человека в целом — земледелие. Нельзя не вспомнить, что в Древней Греции и Риме понятие «культура» касалось умелой и правильной обработки почвы, возделывания земли. Термин «культура», как известно, происходит от возделывания, культивирования растений.

Процесс перехода от собирательства к примитивным, а в последующем и к более совершенным системам земледелия, к более совершенному ведению сельского хозяйства в целом, стимулируя рост производства продовольственных ресурсов, способствовал увеличению значения аграрного сектора в формировании первичной биологической продукции. Это весьма благоприятствовало росту численности населения планеты (рис. 7.1). Биомасса людей по сравнению с доагрокультурной эпохой значительно выросла благодаря сельскохозяйственному производству, интенсивность которого зависит от аккумулируемой энергии. В современной биосфере в антропогенный канал, образуемый людьми и домашними животными, поступает около $1,6 \cdot 10^9$ Вт, что соответствует примерно 25 % общей первичной продукции растений (Горшков, 1995). Столь весомое увеличение первичной продукции, потребляемой человечеством, происходит уже не только за счет солнечной энергии, но и под воздействием дополнительных энергетических источников. При этом, по мнению академика РАСХН А. А. Жученко, сложившиеся суждения о том, что в сельскохозяйственном производстве уменьшается значение солнечной энергии и возрастает роль энергии антропогенного происхождения, являются необоснованными. Примерно 95 % сухого вещества растений — это аккумулированная в процессе фотосинтеза энергия Солнца, а сама продуктивность агроценозов обеспечивается в первую очередь за счет свободно протекающих в растениях и почве биологических про-

цессов. Привносимая в агроэкосистемы «антропогенная энергия» не заменяет (и не может заменить) солнечную энергию, а выступает в роли своеобразного катализатора, стимулирующего более активное ее использование (усвоение).

Непреходящее значение имело также существенное расширение спектра растений, выращиваемых для получения пищевых ресурсов.

Человечество ежегодно потребляет 8,76 млрд т продуктов сельскохозяйственного производства, которые содержат около $1,5 \cdot 10^{20}$ Дж энергии (Дювиньо, Танг, 1973). Около 90 % заключенной в этих продуктах энергии обеспечивается растениеводческой продукцией (Андерсон, 1985):

Продукты	Энергетический эквивалент
Рис	21
Пшеница	20
Прочие злаки	10
Фрукты, орехи, овощи	10
Жиры и масла	9
Сахар	7
Кукуруза	5
Картофель, ямс	5
Маниок	2
Продукты животноводства	11
Всего	100

На земном шаре культивируется немногим более 80 видов главных сельскохозяйственных культур. На зерновые приходится около 60 % мирового производства продуктов питания (из них более 40 % — на рис и пшеницу). Злаковые культуры дают почти 50 % белка, потребляемого человеком.

Рассматривая теоретический максимум выработки органических веществ в результате фотосинтеза в различных экологических областях, Р. А. Эйрес показал, что основную долю продуктов питания поставляют обрабатываемые земли, хотя их площадь и невелика по сравнению с водными пространствами и лесами. По возможному количеству годных в пищу органических веществ обрабатываемые земли значительно превосходят любые другие области земного шара. Однако теоретическая продуктивность обрабатываемых земель, подсчитанная лишь с учетом климатических условий, незначительна по сравнению с продуктивностью океанов и лесов. По мнению исследователя, если бы человечество сумело увеличить долю съедобных веществ в продуктах, получа-

*Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 25. Ч. II. С. 184-185.

емых из океанов и лесов, проблема пищи была бы решена.

Некоторое представление о мировом производстве продовольственных ресурсов дают материалы таблицы 7.1.

7.1. Мировое производство некоторых видов сельскохозяйственной продукции в 1998 г.

Продукция	Объем производства	
	млн т	% к 1990 г.
Зерновые и зерновые бобовые культуры	2106	104,8

Продолжение

Продукция	Объем производства	
	млн т	% к 1990 г.
В том числе:		
пшеница	585	98,6
подсолнечник	25	110,9
Картофель	295	110,1
Сахарная свекла	258	83,5
Плоды, ягоды, цитрусовые, виноград	419	119,0
Овощи и бахчевые	566	123,0
Мясо (убойная масса)	213	122,4
Молоко	466	96,6

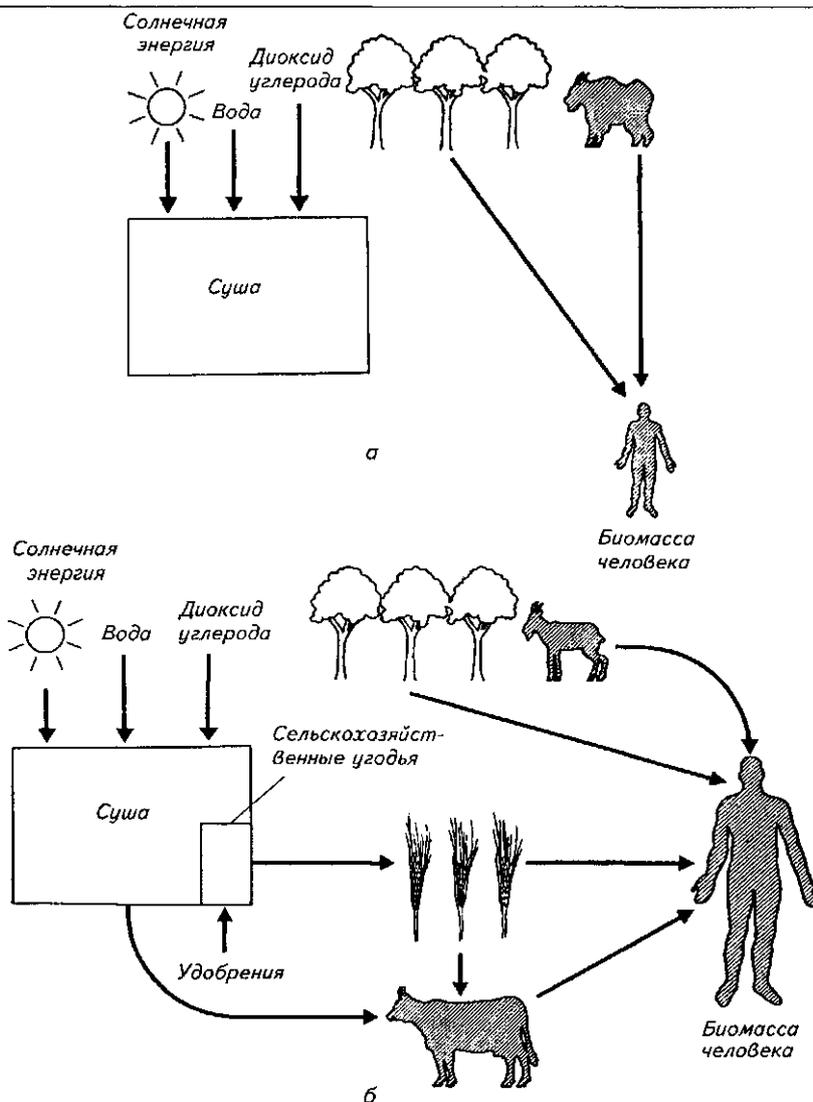


Рис. 7.1. Изменение соотношения между человеком и биосферой в результате появления и развития сельскохозяйственного производства:

а — период охоты и собирательства; *б* — агрокультурная эпоха (Браун, 1972)

Управление сельскохозяйственными экосистемами для увеличения первичной биологической продуктивности, расширения видового разнообразия возделываемых культур, обеспечения необходимого качественного состава производимых продуктов, наличия в них требующихся человеку белков, витаминов, минеральных веществ и других необходимых ингредиентов, а также отсутствия или минимизации нежелательных компонентов — первостепенные функциональные задачи. Их решение связано с использованием как невозобновимых, так и возобновимых природных ресурсов, что в определенной степени служит первопричиной обострения экологических проблем.

XIX в. и первая половина XX в. отмечены активным заселением и освоением плодородных участков планеты. Относительно свободными от антропогенного влияния остаются пока что области, достаточно сложные для освоения, требующие больших затрат, а также выполняющие чрезвычайно важную экологическую функцию поддержания стабильности биосферы, к примеру тропические леса. Таким образом, увеличение производства продуктов питания в первую очередь должны обеспечивать уже возделываемые земли, т. е. процесс получения первичной биологической продукции заведомо носит интенсивный характер.

Во второй половине XX в. было представлено особенно много предположительных сведений о первичной биологической продуктивности как естественных природных систем, так и сформированных человеком агроценозов. Рассматривались также и потенциалы отдельных составляющих природных систем (табл. 7.2). В целом для планеты теоретический максимум продуцирования органических веществ за счет климатического потенциала фотосинтеза можно принять в пределах 330 млрд т в год.

Как отмечает, например, Н. С. Архангельский (1971), если принять коэффициент использования посевами солнечной энергии на фотосинтез за 5 % и оценить среднюю энергетическую ценность биомассы в $(0,157...0,167) \cdot 10^8$ Дж/кг, то возможная в будущем урожайность на

хорошем агрофоне оказывается весьма высокой:

Географическая широта, градусы	Возможная урожайность биомассы, т/га
0...10	113...75
10...20	100...62
20...30	88...60
30...40	60...40
40...50	40...25
50...60	27...25
60...70	25...15

Между тем доля указанной массы (330 млрд т), пригодная для питания, оказывается на выходе существенно ниже. Практически даже с возделываемых земель менее 50 % получаемой биологической продукции трансформируется в пищевой ресурс. Производство продуктов земледелия, пригодных в пищу, в среднем в год равно 14 млрд т (максимальная теоретическая величина). В формировании первичной биологической продуктивности не менее существенную роль, чем климатический фактор, играют значительные различия в зональном распределении почвенных разностей. При учете этого фактора выясняется, что биологическая продуктивность суши планеты еще ниже.

Р. Эйрес пришел к выводу, что мировое сельскохозяйственное производство пока что достигло примерно 15 % максимально возможного объема, т. е. имеются значительные резервы наращивания первичной биологической продукции, формируемой в сфере сельского хозяйства. При этом требуется привлечение дополнительной «антропогенной энергии» (средства химизации, технологии механизации, приемы мелиорации и др.). Здесь-то, как свидетельствует многолетняя практика, возникают и развиваются противоречивые отношения. С одной стороны, использование достижений науки и техники, масштабы производства — необходимое условие удовлетворения потребностей человека. С другой стороны, все это отрицательно влияет на природу, что проявляется в истощении и уничтожении естественных ресурсов, нарушении механизмов саморегуляции и стабильности экосистем, загрязнении среды.

Пределы вмешательства в природу. По мере развития сельскохозяйственных

7.2. Биомасса (сухое вещество), первичная и вторичная биологическая продуктивность (Реймерс, 1990)

Тип экосистем	Площадь, млн км ²	Биомасса растений, кг/м ³		Общая биомасса растений, млрд т	Общая биомасса животных, млн т	Чистая первичная продукция, г/м ² за год		Общая чистая первичная продукция, млрд т в год	Продуктивность животных, млн т в год
		колебания	среднее значение			колебания	среднее значение		
Влажные тропические леса	17,0	6...80	45	765	330	1000 ..3500	2200	37,4	260
Тропические сезонно-зеленые леса	7,5	6...80	35	260	90	1000 ..2500	1600	12	72
Вечнозеленые леса умеренного пояса	5,0	6...200	35	175	50	600. .2500	1300	6,5	26
Листопадные леса умеренного пояса	7,0	6...60	30	210	ПО	600. .2500	1200	8,4	42
Тайга	12,0	6...40	20	240	57	400. .2000	800	9,6	38
Лесокустарниковые сообщества	8,5	2...20	6	50	40	250. .1200	700	6	30
Саванна	15,0	0,2...15	4	60	220	200. .2000	900	13,5	300
Луговая степь	9,0	0,2...5	1,6	14	60	200. .1500	600	5,4	80
Тундра и высокогорье	8,0	0Д...3	1,6	14	60	10. .400	140	1,1	3
Пустыни и полупустыни	18,0	0,1...4	0,7	13	8	10. .250	90	1,6	7
Сухие пустыни, скалы, ледники и т. п.	24,0	0...0.2	0,02	0,5	0,02	0. .10	3	0,07	0,02
Культивируемые земли	14,0	0,4...12	1	14	6	100. .3500	650	9,1	9
Болота	2,0	3...50	15	30	20	800. .3500	2000	4,0	32
Озера и водотоки	2,0	0,01	0,02	0,05	10	100. .1500	250	0,5	10
Материковые экосистемы в целом	149	—	12,3	1837	1005	0... 3500	773	115	909
Открытый океан	332,0	0...0,005	0,003	1,0	800	2.. 400	125	41,5	2500
Зона апвеллинга	0,4	0,005...0,1	0,02	0,008	4	400. .1000	500	0,2	11
Континентальный шельф	26,6	0,001...0,04	0,01	0,27	160	200...600	360	9,6	430
Заросли водорослей и рифы	0,6	0,04...4	2	1,2	12	500...4000	2500	1,6	36
Эстуарии	1,4	0,01...6	1	1,4	21	200...3500	1500	2,1	48
Морские экосистемы в целом	361	—	0,01	3,9	997	2...4000	152	55	3025
В целом на Земле*	510	—	3,6	1841	2002	0...4000	333	170	3934

* Биомасса организмов толщи литосферы и аэробисферы несопоставимо мала, продуктивность организмов литобиосферы неизвестна, организмов аэробисферы — ничтожно мала.

экосистем, создаваемых для получения максимума продукции, воздействие на природу, обусловленное перераспределением энергии и веществ на поверхности Земли, постоянно возрастает. Совершенствование орудий труда, внедрение высокоурожайных культур и сортов, требующих большого количества питательных веществ, стали резко нарушать природные процессы. Необходимые земледельческие приемы и системы земледелия действуют опустошающе (эрозия почв и утрата плодородия вследствие нерационального использования и несоблюдения предупредитель-

ных мер и технологий охраны почв; засоление и заболачивание орошаемых массивов; изменение структуры почв из-за чрезмерного переуплотнения верхних горизонтов; снижение биологического разнообразия естественных ландшафтов в результате длительного выращивания растений одного вида; нарастание дефицита подземных пресных вод из-за истощения водоносных горизонтов при интенсивном заборе воды на орошение; загрязнение поверхностных и подземных вод остатками пестицидов и нитратов, поступающих с сельскохозяйственных угодий; исчезно-

вание диких животных в результате разрушения мест их обитания сельскохозяйственной деятельностью и многое другое).

Для регулирования и решения этих проблем предлагают научно обоснованные приемы и способы, позволяющие в определенных случаях лишь частично предотвратить или снизить нежелательные эффекты, возникающие при получении первичной биологической продукции в различных условиях хозяйствования. Однако целостная внутренне непротиворечивая теория долгосрочной оптимизации формирования первичной продукции на основе сельскохозяйственного производства пока еще не создана. Идет процесс ее становления на базе синтеза научных положений многих наук. При формировании систем получения первичной биологической продукции выбор той или иной модели интенсивного аграрного природопользования определяется балансом между экономическими и экологическими аргументами. На фоне роста технических возможностей человечества по освоению природных систем для целевого формирования первичной сельскохозяйственной продукции экономика выступает в качестве своеобразного фильтра целесообразности и допустимости проводимых мер. Технические возможности и технологические решения (обводнение, орошение, террасирование, культуртехнические мероприятия и др.) неуклонно расширяли, а экономические ограничения сужали диапазон хозяйственного использования почвенного покрова планеты.

В последние десятилетия на равный, а во многих случаях и на более высокий уровень выходят экологические ограничения. Существует объективный природный предел—порог снижения естественного плодородия, при приближении к которому вся техническая мощь человека, созданные им высокопроизводительные искусственные средства становятся менее эффективными, но при этом избыточно нарастают по масштабам и глубине проявления отрицательные экологические последствия. Решая насущные проблемы, необходимо учитывать пределы допустимого вмешательства в естественный и непре-

рывный ход процессов. Сложившаяся тенденция «наполнения» агроэкосистем искусственными средствами, создавая иллюзорность благополучия, лишь вуалирует фактическое истощение их природного потенциала. Например, минеральные удобрения не могут служить долговременным средством обеспечения устойчивого производства различных культур, поскольку при широкомасштабном применении интенсифицируют расход капитальных почвенных резервов, способствуя тем самым падению природного плодородия, что подтверждается значительным уменьшением запасов гумуса.

Характерной особенностью второй половины XX в. явилось существенное увеличение первичной биологической продукции в сфере сельскохозяйственного производства за счет повышения урожайности в результате так называемой «зеленой революции» — внедрения новых высокоурожайных сортов зерновых культур, применения в высоких дозах минеральных удобрений, использования экономически эффективных (но экологически небезопасных) средств защиты растений. В результате с 1950 по 1970 г. значительно возрос выход основного продукта питания — зерна. Однако, как отмечают Р. М. Хазиахметов и Л. Г. Наумова в обстоятельной теоретической статье «Биологические аспекты развития агроэкологии» (1996), с начала 80-х гг. XX в. этот показатель перестал расти, что явилось отражением действия закона снижения энергетической эффективности природопользования. По Н. Ф. Реймерсу (1990), данный закон гласит: при прочих равных условиях дополнительное увеличение вложенной энергии дает более низкий эффект, чем ранее затраченная энергия (поднять урожайность с 2 до 2,5 т/га энергетически дешевле, чем с 5 до 5,5 т/га). А. А. Жученко, характеризуя энергетическую эффективность сельского хозяйства СССР за 1970—1990 гг., пришел к выводу, что в условиях затратной экономики вложенная энергия не только не давала отдачи, но и переходила в форму «отрицательной энергии» разрушения почв и кормовых угодий.

В последнее время особое значение приобретает качество производимой

продукции. Анализируя в ретроспективном плане опыт других стран, следует констатировать, что пока не будет ликвидирован прессинг дефицита сельскохозяйственной продукции, вопросы экологии неизменно будут иметь подчиненное значение. И только по мере насыщения рынка продовольствием экологические требования и ограничения выходят на первый план. Поэтому при оценке проблем сельскохозяйственного формирования биологической продукции необходимо различать задачи ближайших лет и более отдаленную перспективу.

7.2. ТИПЫ, СТРУКТУРА, ФУНКЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ

Понятие «агроэкосистемы». Сельское хозяйство существенно трансформирует природные комплексы. В результате сформировались разнообразные антропогенные сельскохозяйственные образования (пашни, садовые насаждения, луга, пастбища и т.д.), занимающие около трети суши, в том числе почти 1,5 млрд га пашни. Территории, подлежащие ежегодной перепашке, требующие внесения удобрений, регулярного формирования искусственных (управляемых) фитоценозов, относятся к сельскохозяйственным образованиям полевого типа. Сады, ягодники, виноградники, плантации чая и кофейного дерева — садовые образования; они представляют собой многолетние фитоценозы. Наибольшую территорию в качестве базы для получения сельскохозяйственной продукции занимают луга и пастбища, простирающиеся от тропических саванн до субарктической зоны на площади более 3 млрд га. В этих угодьях процесс формирования первичной биологической продукции идет естественным путем, и используется она для получения вторичной биологической продукции (разведение и содержание различных видов одомашненных животных, размножающихся под присмотром и управлением человека). И не случайно еще в 1977 г. Международный научно-исследовательский центр по животноводству отмечал, что одним из главных ресурсов ликвидации мирового

продовольственного дефицита является пастбищное животноводство, рекомендуя увеличивать поголовье крупного рогатого скота, развивать опережающими темпами овцеводство, козоводство, кролиководство и т.д. Площади пастбищ вдвое превышают площадь пашни. К тому же при пастбищном содержании затраты энергии на производство 1 кг белка мясного крупного рогатого скота, например, на 65...70 % ниже, чем при скармливании кормового зерна.

Особой формой сельскохозяйственного производства является получение вторичной биологической продукции на промышленной основе (молочные и откормочные комплексы, свинокомплексы, птицефабрики). Высокая концентрация поголовья, совмещение процессов получения и переработки животноводческой продукции на ограниченных площадях требуют тщательных экологических решений. К категории агроэкосистем правомерно отнести также сообщества растений и животных, искусственно создаваемые человеком в морской и пресноводной среде.

В процессе целенаправленного производства первичной и вторичной биологической продукции нет принципиально чуждого природным закономерностям. Лишь объективно необходимая для обеспечения устойчивости продукционного процесса антропогенная «модификация» его способствует обострению экологических проблем, становясь значимым фактором воздействия на окружающую природную среду. В то же время сельскохозяйственное производство по своей природной первооснове не может быть изолировано от влияния глобальных экологических изменений.

В сфере сельского хозяйства первичным структурным звеном, где, собственно, и происходит взаимодействие человека с природой, являются функциональные единицы — агроэкосистемы (или агробιοгеоценозы). Надо, однако, отметить, что понятие это воспринимается неоднозначно. К примеру, по мнению Ю. Одума (1987), агроэкосистемы — это одомашненные экосистемы, которые во многих отношениях занимают промежуточное положение между природными экосистемами (луга, леса) и искусственными (города). Другой

американский агроэколог Р. Митчелл считает, что подобно тому как морские свинки — это не обитатели моря и не представители отряда парнокопытных, так и агроэкосистемы — это не настоящие экосистемы, но и не самодовлеющие сельскохозяйственные единицы. Во всех агроэкосистемах экономические соображения влияют на структуру посевов и набор культур.

Некоторые исследователи считают, что роль человека, под управлением которого находится агроэкосистема, настолько значительна, что следует говорить об артеприродной основе агроэкосистем. Действительно, агроэкосистемы сходны с урбанизированными и промышленными системами своей зависимостью от внешних факторов, т. е. от окружающей среды на входе и выходе системы. Однако в отличие от них агроэкосистемы по преимуществу автотрофны.

В свете современных представлений *агроэкосистемы* (агробиогеоценозы) — вторичные, измененные человеком биогеоценозы, ставшие значительными элементарными единицами биосферы; их основу составляют искусственно созданные, как правило, обедненные видами живых организмов биотические сообщества. Эти сообщества формируют и регулируют люди для получения сельскохозяйственной продукции. Агроэкосистемы отличаются высокой биологической продуктивностью и доминированием одного или нескольких избранных видов (сортов, пород) растений или животных. Выращиваемые культуры и разводимые животные подвергаются искусственному, а не естественному отбору. Как экологические системы агроэкосистемы неустойчивы: у них слабо выражена способность к саморегулированию, без поддержки человеком они быстро распадаются или дичают и трансформируются в естественные биогеоценозы (например, мелиорированные земли — в болота, насаждения лесных культур — в лес).

Агроэкосистемы с преобладанием зерновых культур существуют не более одного года, многолетних трав — 3...4 года, плодовых культур — 20...30 лет, а затем они распадаются и отмирают. Полез-

ные лесные полосы, являющиеся элементами агроэкосистем, в степной зоне существуют не менее 30 лет. Однако без поддержки человеком (рубки ухода, дополнения) они постепенно «дичают», превращаясь в естественные экосистемы, или погибают. Преобладающая разновидность агроэкосистем — искусственные фитоценозы: - окультуренные (планово эксплуатируемые луга и пастбища); полукультурные (непостоянно регулируемые искусственные насаждения — сеяные, многолетние луга); культурные (постоянно регулируемые многолетние насаждения, полевые и огородные культуры); интенсивно культурные (парниковые и оранжерейные культуры, гидропоника, аэропоника и другие, требующие создания и поддержания особых почвенных, водных и воздушных условий). Управление агроэкосистемой осуществляется извне и подчинено внешним целям.

Заслуживает внимания определение Р. А. Полуэктова (1991), назвавшего агроэкосистемы специальным видом экосистем сельскохозяйственного поля, на котором произрастают культурные растения, обитают другие виды растений и животных и происходит сложная цепь физических и химических трансформаций энергии и вещества.

Б. М. Миркин и Р. М. Хазиахметов предложили схему функционирования агроэкосистемы (рис. 7.2).

Типы агроэкосистем. Авторы учебного пособия «Сельскохозяйственная экология» (Уразаев и др., 1996), рассматривая сельскохозяйственные экосистемы, исходят из следующего ранжирования: агросфера — глобальная экосистема, объединяющая всю территорию Земли, преобразованную сельскохозяйственной деятельностью человека; аграрный ландшафт — экосистема, сформировавшаяся в результате сельскохозяйственного преобразования ландшафта (степного, таежного и т.д.); сельскохозяйственная экологическая система (или сельскохозяйственная экосистема) — экосистема на уровне хозяйства; агробиогеоценоз — поле, сад, бахча, теплица, оранжерея; пастбишный биогеоценоз — природное или культурное пастбище, используемое для выпаса сельскохозяйственных животных; фер-

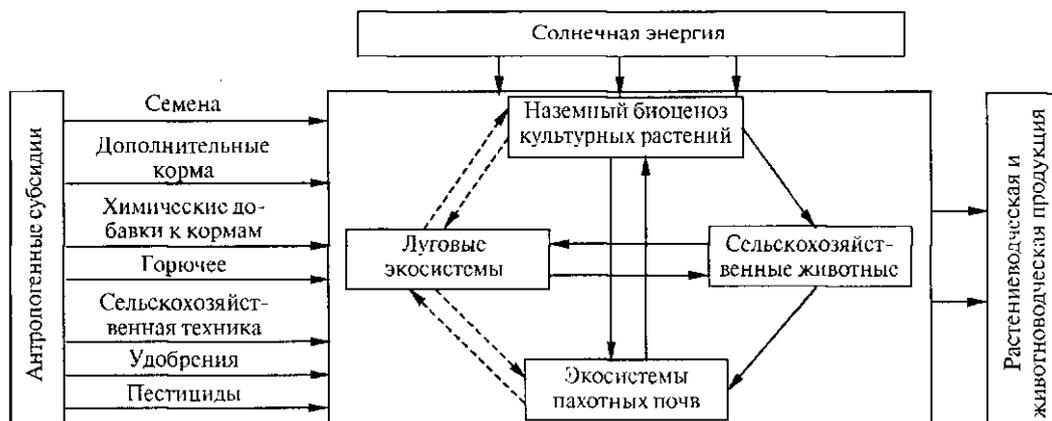


Рис. 7.2. Схема функционирования агроэкосистемы (Миркин, Хазиахметов, 1995)

менный биогеоценоз — конюшня, коровник, свиноводческий комплекс, кошара, птичник, животноводческий комплекс, зоопарк, виварий.

Приведенная структуризация, с одной стороны, отражает многоплановость взаимодействия человека с окружающей природной средой в процессе сельскохозяйственного производства, а с другой — убеждает в необходимости выработки целостной методологии исследований, отражающей сущность агроэкологии как интегративного междисциплинарного комплекса.

В отличие от индустриальных или урбанизированных экосистем первоначальный процесс формирования агроэкосистемы из естественной экосистемы прост. Условно говоря, достаточно разрыхлить поверхность почвы и заложить необходимые для будущего урожая семена, уничтожив предварительно в достаточной степени естественную растительность. Но и при таком весьма примитивном преобразовании естественной экосистемы ощутимо меняется круговорот веществ. Так, после распашки территории активизируются процессы массообмена, проявляющиеся в интенсификации круговорота биогенных элементов.

Если условно рассматривать агроэкосистему как соединение естественной экологической системы и антропогенной энергии, следует отметить, что удельные затраты энергии в доиндустриальном сельском хозяйстве были

сравнимы с энергопотоками в естественных экосистемах. В интенсивном сельском хозяйстве энергопотребление намного выше (рис. 7.3), что в конечном итоге уравнивает его по степени влияния на окружающую природную среду с иными антропогенными воздействиями. Как отмечалось, природные экосистемы и агроэкосистемы сходны по автотрофности. Но при этом природная экосистема является областью замкнутого цикла и элементов питания, и первичной продукции, т. е. потоки вещества реализуются преимущественно внутри системы, а вынос их из системы почти отсутствует (рис. 7.4). Агроэкосистемы же создаются для преимущественного выноса продукции из системы, причем иногда за тысячи километров от первоначального источника формирования этой продукции.

На рисунке 7.4 показано отличие природных экосистем от агроэкосистем. Прежде всего биотическое сообщество природной экосистемы разнообразнее (как это показано наличием множества ячеек в пространстве ниши), чем в агроэкосистеме, и полнее использует доступное ей пространство ниши. Характеристики отдельных индивидуумов (генетика, возраст, состояние) внутри определенного вида (показаны цифрами внутри ячейки для этого вида) имеют тенденцию к изменению в природных экосистемах, но относительно постоянны в агроэкосистемах. Природные экосистемы более непрерывные в про-

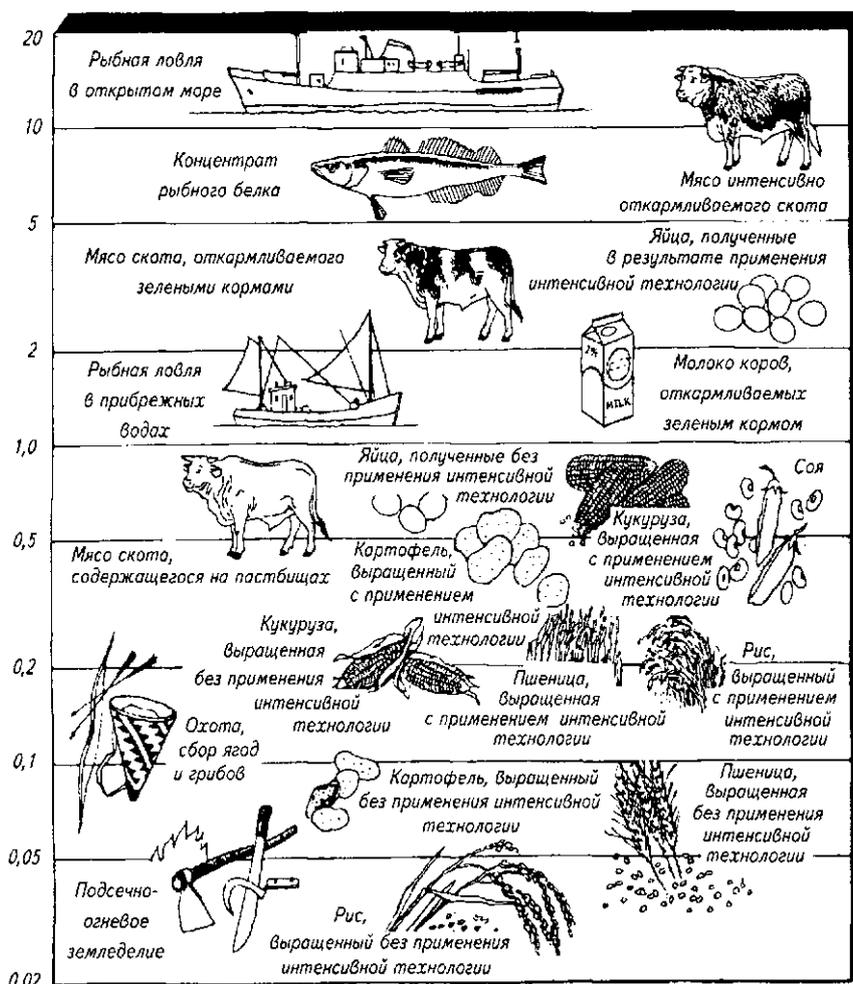


Рис. 7.3. Энергетические затраты на производство продуктов питания. Цифры показывают, сколько энергетических единиц требуется для производства одной энергетической пищевой единицы (Миллер, 1994)

странстве и во времени; основная часть полученной в них продукции используется для различных целей в этих экосистемах. Экспорт продуктов продовольствия из агроэкосистем лимитирует использование полученной продукции внутри этих систем и делает их зависимыми от затрат материалов и труда человека.

С одной стороны, агроэкосистемы — это естественно-материальный источник производства, а с другой — объект и результат целенаправленной деятельности человека. Каково же соотношение этих двух сторон и как оно меняется под

влиянием интенсификации сельскохозяйственного производства? Как предмет изучения и управления агроэкосистема представляет собой вполне определенную материальную систему со сложной совокупностью активных экологических взаимосвязей, которые реализуются в результатах производственной деятельности и условиях воспроизводства природного потенциала.

Агроэкосистемы, как и естественные экосистемы, состоят из множества взаимосвязанных биологических, физических и химических компонентов. Любая группа компонентов, между которыми

установились функциональные связи, образует систему (система характеризуется взаимообусловленностью компонентов, а не их суммой, набором). Правоммерно полагать, что агроэкосистемы являются особой формой материального мира с определенной совокупностью (как правило, заданной) экологических, экономических и социальных явлений. О такого рода образованиях и необходимости их особого исследования писал В. В. Докучаев: «Изучались главным образом отдельные тела — минералы, горные породы, растения и животные — и явления, отдельные стихии — огонь (вулканизм), вода, земля, воздух... но не их соотношения, не та генетическая, вековечная и всегда закономерная связь, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растительными, животными и минеральными царствами, с одной стороны, человеком, его бытом и даже духовным миром — с другой»*.

Процессами производства пищевых ресурсов на основе использования почвенно-климатического потенциала охвачены огромные площади планеты, представленные разномасштабными (от парцелл** до крупных возделываемых массивов) агроэкосистемами. Значительное разнообразие их по размерам, целевому назначению, используемым технологическим системам пока что ограничивает возможность разработки универсальной схемы типизации этих образований. Не исключено, что перспективным может оказаться анализ материально-вещественных потоков, а

* Докучаев В. В. Дороже золота русский чернозем. - М.: Изд-во МГУ, 1994. С. 203.

** Парцеллярные агроэкосистемы (от фр. *parcelle* — частица) — мелкие земельные участки, на которых производят продукцию с помощью маломощных орудий труда. Такие системы характеризуются ограниченными пахотными угодьями, распространением смешанных посевов с разной периодичностью чередования и различными сроками вызревания культур. В практике мирового земледелия этот тип агроэкосистем имеет существенное значение (особенно в предгорьях и горах). В Кении, например, 60 % всех профилирующих культур выращивают на полях площадью менее 0,25 га. И как не вспомнить наши 6 соток, существенным образом пополняющие продовольственную корзину зеленой, овощной, ягодной и другой продукцией.

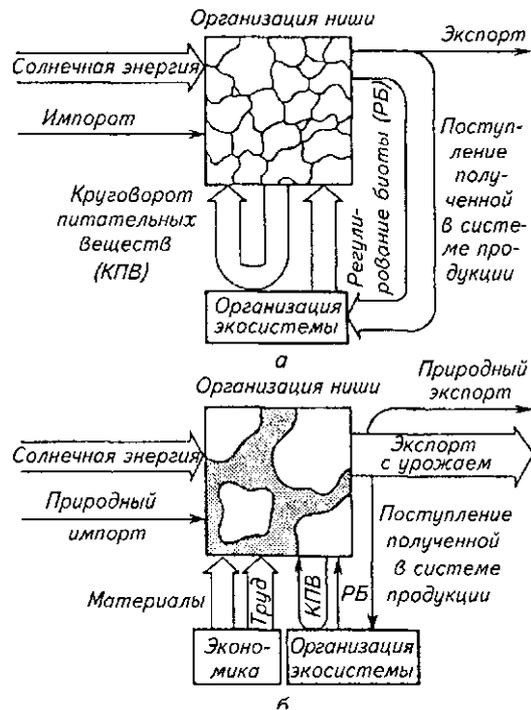


Рис. 7.4. Сравнительная характеристика природной экосистемы (а) и агроэкосистемы с высоким уровнем механизации (б) (Кокс, 1987)

также энергетических характеристик, отражающих основные стадии формирования агроэкосистем. Отсутствие общепринятой классификации агроэкосистем восполняется в известной мере типизацией структур земледелия, применяемой ФАО. Согласно этой типизации, выделено пять видов землепользования, по каждому из которых классифицированы агроэкосистемы:

1. Земледельческое, или полевое, землепользование — богарные, орошаемые агроэкосистемы (ротации зерновых, бобовых, кормовых, овощных, бахчевых, технических и лекарственных, культур).
2. Плантационно-садовое землепользование — плантационные агроэкосистемы (чайный куст, дерево какао, кофейное дерево, сахарный тростник), садовые агроэкосистемы (плодовые сады, ягодники, виноградники).
3. Пастбищное землепользование — пастбищные агроэкосистемы (отгонные пастбища: тундровые, пустынные, гор-

ные; лесные пастбища; улучшенные пастбища; сенокосы; окультуренные луга).

4. Смешанное землепользование — смешанные агроэкосистемы, характеризующиеся равнозначным соотношением и сочетанием нескольких видов землепользования, а также процессов получения как первичной, так и вторичной биологической продукции.

5. Землепользование в целях производства вторичной биологической продукции — агропромышленные экосистемы (территории интенсивного «индустриализированного» производства молока, мяса, яиц и другой продукции на основе преобладающих процессов снабжения системы веществом и энергией извне).

По энергетическим вложениям выделяют агроэкосистемы доиндустриальные с дополнительной энергией в виде мышечных усилий человека и животных. Агроэкосистемы этого типа, как правило, гармонирующие с природными экосистемами, занимают значительные площади пахотных земель в странах Азии, Африки и Южной Америки. Различают также агроэкосистемы второго типа, требующие постоянного дополнительного привнесения энергии. В агроэкосистемы доиндустриального типа ежегодно дополнительно поступает около 2-10 Дж/га, а в интенсивные механизированные агроэкосистемы развитых стран — до $20 \cdot 10^{10}$ Дж/га (целесообразный предел внесения дополнительной энергии — $15 \cdot 10^{10}$ Дж/га).

Характеристика основных типов агроэкосистем, разработанная Б. М. Миркиным, с изменениями, внесенными Р. М. Хазиахметовым и Л. Г. Наумовой, приведена в таблице 7.3.

К экологически организованной агроэкосистеме предъявляется требование сестайнинга (от англ. sustainable — поддерживающий). Использование данного емкого понятия применительно к агроэкосистемам предложено А. Шапкиным и Б. Миркиным с соавт. Сестайнинг обеспечивается на основе экологического императива, предусматривающего систему запретов на ресурсоразрушающие методы природопользования (почвы, пастбища, гидрологический режим территории, биологическое разнообразие и т. д.). Для того

чтобы осуществить требования сестайнинга, необходима оптимизация агроэкосистемы. Для этого предлагается расчетным путем устанавливать целесообразное соотношение учитываемых компонентов, основными из которых являются пашня, естественные и кормовые угодья, скот. По мнению авторов рассматриваемой типизации (см. табл. 7.3), в одних и тех же природных условиях могут реализовываться различные функциональные варианты агроэкосистемы — растениеводческая, животноводческая и комплексная, что зависит от экономической целесообразности. Сестайнинг может быть достигнут при любом количестве привносимой энергии (экстенсивный, интенсивный и адаптивный варианты). Вместе с тем при интенсивных вариантах экологический императив вступает в глубокое противоречие с энергетическим императивом, происходит нарушение последнего. По замечанию Ю. Одум (1986), если перевести все агроэкосистемы мира на высокий уровень обеспечения антропогенной энергией и сделать их интенсивными, то человечество будет вынуждено израсходовать 90 % всей получаемой энергии.

«Для любого варианта агроэкосистемы сестайнинг означает приближение к экологическому равновесию за счет обеспечения максимальной замкнутости циклов вещества, минимизации количества антропогенной энергии, повышения биологического разнообразия и его потенциальной способности к формированию полезных симбиотических связей. Реализация требований оптимизации агроэкосистемы, как правило, приводит к уменьшению площади пашни, повышению доли естественных кормовых угодий, усилению значения лесомелиорации, сокращению поголовья скота, усовершенствованию севооборотов путем повышения доли почвосстанавливающих культур»*, — пишут Р. М. Хазиахметов и Л. Г. Наумова. Их выводы следует учитывать при решении проблем совершенствования природопользования в сельском хозяйстве.

* Хазиахметов Р. М., Наумова Л. Г. Биологические аспекты развития агроэкологии // Успехи современной биологии, 1996. Т. 116. Вып. 5. С. 525.

7.3. Обобщенная характеристика основных типов агроэкосистем и тактик достижения сестайнинга (Хазиахметов, Наумова, 1996)

Группы по размеру антропогенной энергетической субсидии (а.э.с.)	Продуктивность	Степень адаптивности	Специализация	Схема потоков веществ и энергии	Тактика сестайнинга
Экстенсивные (низкие а.э.с.)	Низкая	Высокая	Растениеводческая	Луг ↔ Пашня →	Обеспечение достаточной длительности залежно-переложной стадии Обеспечение баланса между продуктивностью кормовых угодий и поголовьем скота Обеспечение баланса между площадями пашни и луга и поголовьем скота
			Животноводческая	Луг ↔ Скот →	
			Комплексная	← Пашня ↔ Скот → ↙ ↘ Луг	
Интенсивные (высокие а.э.с.)	Высокая	Низкая	Растениеводческая	Пашня →	Применение севооборотов с травами и сидератами Утилизация бесподстилочного навоза, возврат его на пашню То же
			Животноводческая	Пашня ↔ Скот →	
			Комплексная	← Пашня ↔ Скот →	
Адаптивные (умеренные а.э.с.)	Умеренно высокая	Высокая	Растениеводческая	Пашня →	Сидерация, севообороты Обеспечение адаптивной структуры агроэкосистемы, сохранение биологического разнообразия Севообороты, полная утилизация навоза, применение биометодов
			Животноводческая	Пашня ↔ Скот → ↙ ↘ Луг	
			Комплексная	← Пашня ↔ Скот → ↙ ↘ Луг	

В процессе формирования, развития и эксплуатации агросистемных образований принципиально важно учитывать естественное плодородие почв и условия его воспроизводства. Можно выделить три базовых типа агроэкосистем: природоемкий, природоохранный и природооулучшающий. Природоемкие агроэкосистемы характеризуются неполным воспроизводством естественного плодородия, что приводит к падению его уровня. Для природоохранного типа агроэкосистем характерны простое воспроизводство естественного плодородия и, как следствие, сохранение его уровня. Природооулучшающий тип направлен на расширенное воспроизводство и повышение уровня естественного плодородия. В последнее время доминирует природоемкий тип.

Пропорционально типу воспроизводства почвенного плодородия меняется эффективность привносимой в агроэкосистемы антропогенной энергии.

Почва — это базис для создания любой агроэкосистемы, своеобразное средоточие процессов видоизменения веществ и трансформации потоков энергии, главное звено управления агроэкосистемами. Физико-химические процессы, происходящие в агроэкосистемах, как известно, существенно отличаются от таковых в естественных экосистемах вследствие привнесения элементов антропогенного регулирования. Принципиальное отличие даже упрощенных агроэкосистем от естественных заключается в преимущественном выгно-

се с урожаем питательных веществ, аккумулируемых в выращенной продукции (рис. 7.5). Это явный отличительный признак агроэкосистем, но он не единственный. Почвенное плодородие, определяемое в основном запасами гумуса, является не только главной экономической и экологической характеристикой агроэкосистемы. Уменьшение содержания гумуса ухудшает условия развития полезной микрофлоры, в том числе и «почвоочистительной», приводит к утрате запасов внутрпочвенной энергии, элементов минерального питания, к усилению процессов смыва и вымывания, т. е. обуславливает деградацию базиса.

Некоторые процессы в агроэкосистемах происходят не так, как в природных системах. Так, скорость инфильтрации воды в природных экосистемах выше, что существенно снижает и поверхностный сток, и вероятность развития эрозии почвы. В естественных условиях эрозию сдерживает также растительный покров, сохраняющийся в течение всего года.

Потери влаги в природной экосистеме обычно выше. Вследствие больших потерь влаги по почвенному профилю перемещается меньший объем воды, что снижает вымывание и поступление в грунтовые воды питательных веществ.

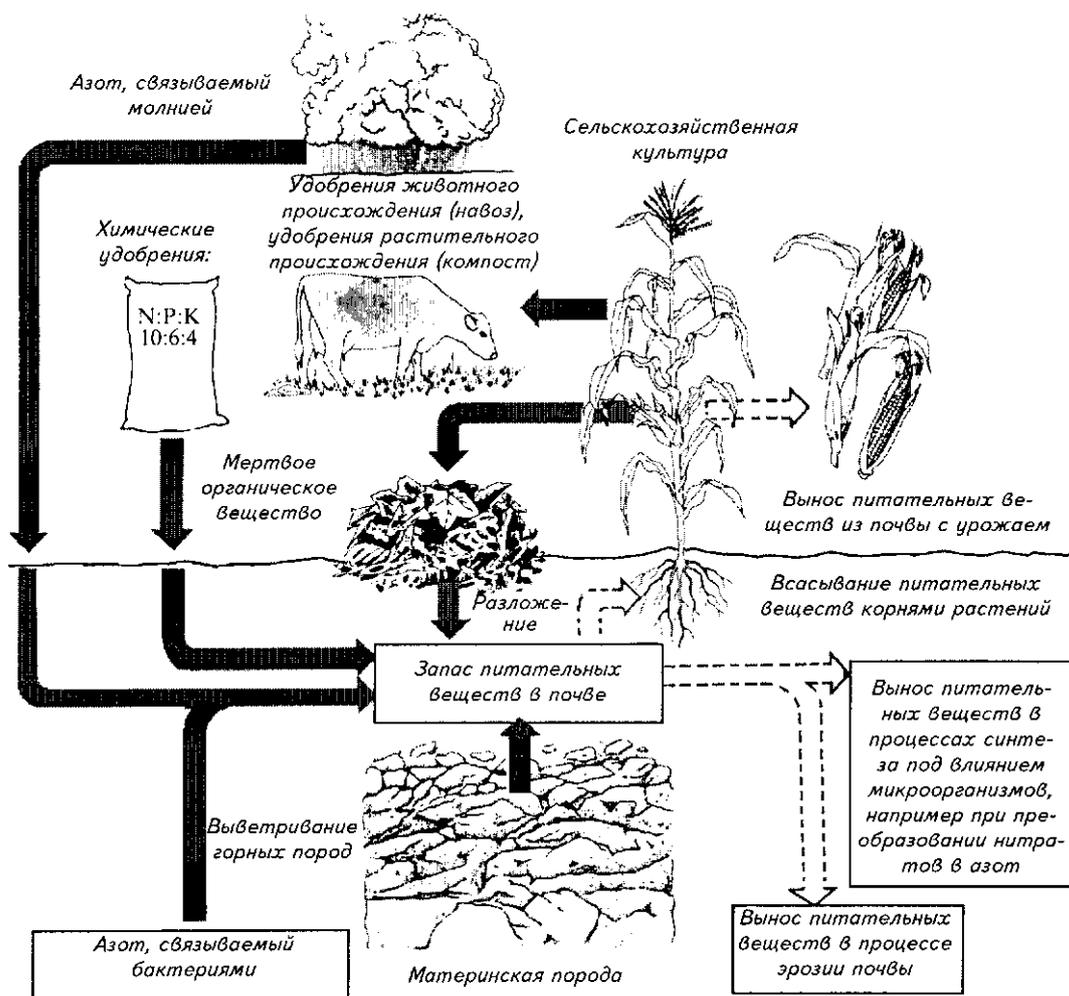


Рис. 7.5. Упрощенная схема поступления питательных веществ в почву и выноса их из почвы (Небел, 1993)

В природных экосистемах в больших количествах содержатся органические коллоиды, которые обеспечивают ионообменную и водоудерживающую способность почвы. Потери почвой коллоидов в агроэкосистемах вызваны окислением и разрушением органического вещества, что происходит в результате длительной обработки почвы, а также при орошении. Параллельно окислению органического вещества происходит и интенсивная минерализация, что ведет к значительным потерям его подвижной части. В агроэкосистемах процессы окисления и минерализации усиливаются вследствие снижения густоты растительного покрова и повышения температуры почвы.

Цикл круговорота биогенных элементов в природных экосистемах более закрытый, чем в агроэкосистемах, где значительная их часть отчуждается с урожаем. Газообразные потери азота из почвы в агроэкосистемах значительно выше, чем в природных экосистемах, вследствие большей активности денитрифицирующих микроорганизмов.

В природных экосистемах способность растений поглощать элементы питания выше, чем скорость образования доступных их форм в почве. Растения природных экосистем имеют более разнообразную корневую систему, что позволяет полнее использовать почвенный профиль. Агротехника, при которой уменьшается разнообразие возделываемых культур, не только снижает эффективность использования влаги, но и увеличивает угрозу потери питательных веществ при вымывании их за пределы корнеобитаемого слоя почвы.

Естественные экосистемы выполняют три основные жизнеобеспечивающие функции (место, средство, условия жизни). Агроэкосистемы в отличие от них формируются для получения максимально возможного количества продукции, служащей первоисточником пищевых, кормовых, лекарственных и сырьевых ресурсов, т. е. функции агроэкосистем в основном ограничиваются предоставлением средств жизни. В этом главная причина преобладания ресурсоемкого и природоразрушающего типов агроэкосистем. Перспектива же за природосообразными агроэкосисте-

мами. Добиться этого можно лишь при выполнении агроэкосистемами в полной мере функций воспроизводства и сохранения условий жизни. Формирование агроэкосистем (а в большей мере реконструкция их, поскольку доля вновь образуемых агроэкосистем очень невелика по сравнению с уже исторически сложившимися) должно отвечать главному требованию — они должны быть природоохранными. Последовательная реализация экологической функции, поддерживающей благоприятные условия среды для человека, органической и неорганической частей агроэкосистемы и сопредельных территорий, является столь же важной, как и производство средств жизни. Пока что традиционно сохраняется разделение единого процесса производства биопродукции на два соподчиненных блока: непосредственно процесс производства и процесс уборки, транспортировки, переработки, хранения и потребления продукции. На каждой стадии возможно возникновение негативных экологических последствий, что требует специфических охранных мероприятий. Принято считать эти меры дополнительными, носящими затратный характер. Между тем следует соблюдать принцип равнозначной приоритетности как основу системного управления агроэкосистемами.

Современные агроэкосистемы включают сложные взаимосвязанные материально, энергетически, экономически и экологически процессы производства биологической продукции. При этом обеспечиваются воспроизводство естественного ресурсного потенциала и эффективное использование антропогенных субсидий энергии.

Научно обоснованная организация агроэкосистем предусматривает создание рациональной природной и природно-хозяйственной инфраструктуры (дороги, каналы, лесные насаждения, сельскохозяйственные угодья и др.), адекватной особенностям местного ландшафта и хозяйственного пользования территорией в целом.

Организация агроэкосистем должна быть приближена к контурам природных комплексов, что достигается оптимизацией агроландшафта. Это,

однако, только видимая часть экологически обоснованной агроэкосистемы. Значительно сложнее «внутренние» процессы массо- и энергообмена, поддерживающие ландшафтно-экологическое равновесие.

7.3. КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ И ПОТОКИ ЭНЕРГИИ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

Пути повышения продуктивности агроэкосистем. Земная поверхность представлена огромным разнообразием естественных и преобразованных (антропогенных) экосистем. Общим свойством для каждой из них является автотрофность в результате фотосинтеза под действием однонаправленного потока энергии Солнца, проходящего через вещества и живые организмы как естественных, так и измененных экосистем.

Для растения составляющие суммарного потока энергии Солнца имеют существенное значение: благодаря пространственно-временным изменениям они влияют на ход физиологических процессов и др.

Для всех растительных объектов аккумуляция энергии сопровождается формированием или накоплением биомассы, которая служит структурным материалом для образования органов растений и энергетическим материалом для биосинтеза, обеспечивающего существование не только отдельного растения, но и всей сложнейшей биологической структуры.

Рост и развитие растений как организмообразовательный процесс и процесс продуцирования биомассы начинаются после формирования оптико-фотосинтетической системы листа и дальнейшего осуществления реакций фотосинтеза. Это единственный процесс на Земле, в ходе которого накопление и превращение энергии простых неорганических веществ в энергию химических связей органических веществ обеспечиваются поглощением энергии естественного источника, лучистой энергии Солнца.

Наивысшая продуктивность агроэкосистемы (как и экосистемы), т. е. максимальное накопление биомассы в виде различных вегетативных и репродуктивных органов возделываемых ви-

дов растений, определяется адаптированностью оптического аппарата к солнечной энергии. Один из признаков такой адаптированности — максимальное аккумулялирование энергии, т. е. биомассы, растением за единицу времени. При условии нелимитированности других экологических факторов, обеспечивающих процесс фотосинтеза, за счет поглощенной энергии света образуется 95...97 % органических соединений, представленных растительной биомассой. При этом, разумеется, часть энергии расходуется на дыхание.

Для максимального использования поступающей энергии у экосистем эволюционно сформировался ряд адаптивных свойств (например, разнообразие видового состава). По аналогии должны создаваться и агроэкосистемы, поскольку последние имеют ту же первооснову производства биологической продукции. В этом отношении интересно вспомнить, что земледельцам народности майя удалось вывести высокоурожайные сорта кукурузы, бобовых, тыквы, а ручная техника обработки небольшого лесного участка и сочетание на одном поле посевов нескольких культур (кукурузы и фасоли) позволяли долгое время сохранять его плодородие и не требовали частой смены участков. Н. И. Вавилов писал, что поля на Юкатане, как и в Чиапасе, на юге Мексики, в Гватемале около Антигуа, нередко представляют собой как бы сообщество различных культурных растений: фасоль обвивает кукурузу, а между ними растут различного рода тыквы; смешанная культура является господствующей в Мексике. Древние майя выращивали различные древесные плодовые растения в сочетании с полевыми культурами. Такого рода комбинации обеспечивали получение стабильных и достаточно высоких урожаев. Профессор Г.Л.Тышкевич (автор одной из первых отечественных монографий по проблемам экологизации аграрного производства — «Охрана окружающей среды при интенсивном ведении сельского хозяйства», 1987) обоснованно приходит к выводу об экологической целесообразности формирования устойчивых агробиогеноценозов как продуманного сочетания искусственных природных образований с естественными компонентами ландшафтов.

Создание высокопродуктивных сочетаний сельскохозяйственных культур — один из реальных и действенных путей повышения продуктивности и эффективности затрат в агроэкосистемах. Смешанные и совместные посевы можно использовать в агроэкосистемах при высоком уровне механизации работ. Сельскохозяйственные культуры высевают чередующимися полосами или рядами, а также подсевают в междурядья зерновых. В районах с умеренным климатом используют различные комбинации культур: горох и сою с овсом и кукурузой, сою и фасоль с кукурузой, сою с пшеницей, горох с подсолнечником, рапс с кукурузой. При оптимальном подборе злаковых и бобовых компонентов существенно повышаются продуктивность посевов, выход белка, причем не только за счет зерна бобовых, но и за счет повышения содержания белка в зерне злаковых, которые используют азот, фиксируемый бобовой культурой.

Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых конкретизированы оптические свойства почти 1500 видов растений (мезофитов, ксерофитов, гигрофитов и суккулентов травянистых, кустарниковых и древесных форм) и получена средняя спектральная кривая поглощения лучистой энергии. Согласно установленному распределению наименьшее поглощение лучистой энергии «средним» листом (до 20 %) наблюдается в диапазоне длины волн 0,75...1,30 мкм, а наибольшее (70 % и более) — в диапазонах 0,30...0,70; 1,80...2,10 и 2,23...2,50 мкм. Энергетический баланс экосистем, меняющийся в зависимости от климатической зоны, объективно обуславливает формирование у экосистем приспособленности к «оптимальному» поглощению лучистой энергии, возможному в конкретных условиях. Адаптированность энергетического баланса экосистемы, соответствующая энергозатратам на теплообмен и транспирацию, повсеместно определяет продукционную эффективность как естественных, так и искусственных ценоотических образований. Энергетические особенности различных природных зон планеты позволяют выделить 5 основных (глобальных) типов агроэкосистем.

Тропический тип характеризуется высокой обеспеченностью теплом, спо-

собствующей непрерывной вегетации. Земледелие базируется главным образом на основе функционирования агроэкосистем с преобладанием многолетних культур (ананасы, бананы, какао, кофе, многолетний хлопчатник и др.). Однолетние культуры дают несколько урожаев в год. К особенностям этого типа агроэкосистем относится потребность в непрерывном вложении антропогенной энергии в связи с постоянным в течение года проведением полевых работ. Агроэкосистемам этого типа присуща фактически равнозначность естественного и антропогенного процессов массо- и энергообмена.

В агроэкосистемах субтропического типа интенсивность антропогенных потоков веществ и энергии меньше; проявляются дискретность и дисперсность этих потоков. В основном характерно наличие двух вегетационных периодов — летнего и зимнего. Произрастают многолетние растения, которые имеют хорошо выраженный период покоя (виноград, грецкий орех, чай и др.). Однолетние растения летнего периода представлены кукурузой, рисом, соей, хлопчатником, зелеными и т. д.

Агроэкосистемы умеренного типа характеризуются лишь одним (летним) вегетационным периодом и продолжительным («нерабочим») периодом зимнего покоя. Очень высокая потребность во вложении антропогенной энергии приходится на весну, лето и первую половину осени.

Земледелие в агроэкосистемах полярного типа носит очаговый характер. Агроэкосистемы существенно ограничены территориально и по видам возделываемых культур (лиственные овощи, ячмень, некоторые корнеплоды, ранний картофель).

Агроэкосистемы арктического типа в открытом грунте отсутствуют. Возделывание культурных растений исключено из-за очень низких температур теплого периода: в летние месяцы бывают длительные похолодания с отрицательными температурами. Возможно использование закрытого грунта.

На территории России главенствующими являются агроэкосистемы умеренного типа. При организации агроэкосистем важно обеспечить более полноценное использование лучистой энергии. Резервы здесь невелики. Для

большинства типов растительного покрова КПД поглощенной ФАР составляет в среднем 1...2 %. Пустынные кустарники имеют КПД 0,03 %, альпийские травянистые растения — 0,15...0,75 %. Наиболее высокий КПД у лесных экосистем — 2...4 %. В целом растительный покров России характеризуется КПД ФАР около 0,70 %.

В агроэкосистемах, занятых светолюбивыми и высокоурожайными культурами, КПД ФАР может достигать 5...7 %, а при орошении возрастает до 10 %. В целом же КПД ФАР хорошего посева за вегетационный период не превышает 1...4%. Нарращивание продуктивности агроэкосистем зависит от прогресса в селекции, направленной на выведение высокоурожайных и устойчивых сортов. Вместе с тем при организации агроэкосистем есть и другой путь повышения продуктивности — создание многоярусной агроэкосистемы (подобной природной в виде лесного многоярусного ценоза), в которой по вертикальному профилю световая ниша занята соответствующей все более низкорослой и тенелюбивой культурой. Переход от одновидовых агроэкосистем к поликультурным — одна из перспективных задач оптимизации природопользования.

Энергия, разумеется, необходима не только для обеспечения процесса фотосинтеза. Любой процесс, совершающийся в неорганическом и органическом мире, нуждается в энергии и реализуется только при наличии ее в необходимом количестве и доступной форме.

Особенности круговорота веществ в агроэкосистемах. Массо- и энергообмен на планете включает разнообразные процессы вещественных и энергетических превращений и перемещений в литосфере, гидросфере, атмосфере. С появлением жизни эти круговороты и потоки интенсифицировались, претерпев существенные качественные изменения в результате развития биогенной миграции.

Многоплановая производственная деятельность человека вносит заметные коррективы в процессы массо- и энергообмена, затрагивая и изменяя их территориальные и временные характеристики. Агроэкосистемы, разумеется, причастны к этим изменениям (и подчас в немалой степени), способствуя, в частности, разомкнутости круговоротов

веществ и др. Так, вследствие разомкнутости круговорота азота под влиянием химизации агроэкосистем планеты в воде и почвах накапливается и не возвращается в атмосферу ориентировочно около 10 млн т данного элемента. Избыток биогенных веществ — причина загрязнения природных вод, развития нежелательных процессов в почвах и т. д. Нарушение естественных круговоротов веществ — не единственное последствие вмешательства человека в природные циклы. Сельское хозяйство изменяет в круговороте веществ и потоков энергии интенсивность и траектории их перемещения. Особенно опасно вовлечение в круговорот искусственно синтезированных веществ, в том числе и ксенобиотиков* (рис. 7.6).

В пределах территориальных участков, находящихся под влиянием формирующихся и функционирующих агроэкосистем, складываются свои особенности развития и перемещения миграционных потоков веществ, что по-разному сказывается на состоянии природных комплексов и их компонентов и требует нестандартных решений при рассмотрении конкретных природоохранных ситуаций.

И, конечно же, каждый из представленных в таблице 7.3 типов агроэкосистем достаточно специфичен как по степени восприятия внешних антропогенных воздействий (включая негативные), так и по возможному влиянию на природную среду. Выработка соответствующих адаптивных стратегий природопользования, дифференцированных по типам агроэкосистем с учетом процессов научно-технического развития, вне всяких сомнений, должна рассматриваться в качестве одного из ключевых направлений агроэкологии.

Лучше понять особенности формирования круговорота веществ в агроэкосистемах дает возможность достаточно упрощенная схема (рис. 7.7). В природных системах внутренний круговорот питательных веществ по объему значительно превышает их поступление из атмосферы и потери на вымывание из почвы (блок *а*). В управляемой сельскохозяйственной экосистеме (блок *б*) рас-

* Ксенобиотик — любое чуждое для организмов вещество, способное вызвать нарушение биологических процессов.

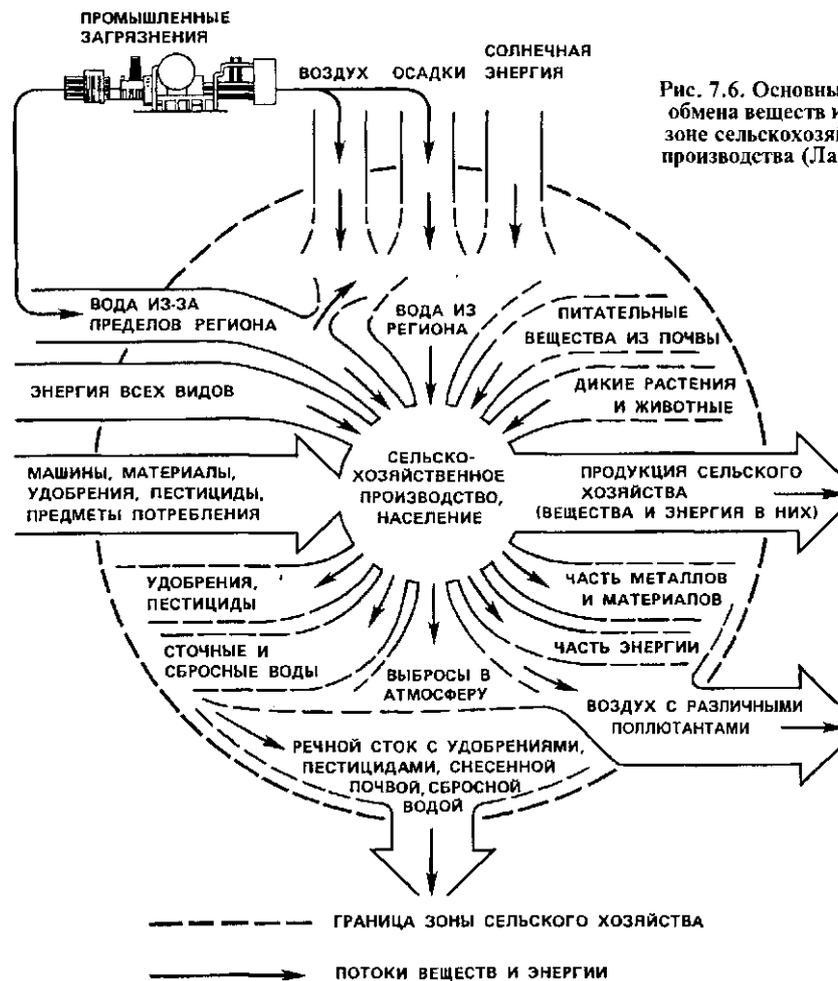


Рис. 7.6. Основные процессы обмена веществ и энергии в зоне сельскохозяйственного производства (Лаптев, 1982)

пределение питательных веществ меняется, что проявляется в снижении их переноса от первичных продуцентов к потребителям (консументам), а также в последующем закономерном изменении режима поступления этих веществ к редуцентам. Такого рода обстоятельства вызваны применением в агроэкосистемах пестицидов, осуществлением агротехнических мероприятий (регулирующего фактора). Характерно, что после заделки растительных остатков при последующей обработке почвы активность редуцентов повышается. Важно, что в результате управления агроэкосистемой наблюдается изменение обычного («консервативного») круговорота питательных веществ и увеличение скорости их перехода в абиотическое состояние. В агроэкосистемах изменя-

ются или подавляются присущие природным системам свойства саморегулирования, что ведет к снижению биотической устойчивости.

Все экосистемы функционируют на основе прохождения биогеохимических циклов — эволюционно сложившихся универсальных природных процессов. В соответствии с принципами гомеостаза заметные изменения любого из формирующих экосистему функциональных компонентов могут послужить первопричиной существенных изменений других компонентов; при этом нарушается прежнее внутреннее строение системы (состав растительных и животных сообществ, доминирование органического вещества и т.д.). Стабильность экосистемы сохраняется и в том случае, если она переходит на новый уровень

гомеостаза. Если же исключается или становится неэффективной любой из функциональных компонентов, экосистема может разрушиться под действием абиотических факторов, например под действием эрозии.

Достижение стабильного функционирования агроэкосистем, предотвращение возникновения и развития деградационных процессов требуют постоянной целенаправленной работы: научного осмысления особенностей

биологического продуцирования, формирования целесообразных направленных практической деятельности. Принципиально важна сравнительная оценка свойств природных и культивируемых систем (табл. 7.4). В перспективе должно быть обеспечено максимальное приближение свойств искусственных образований к свойствам природных — к этому, по сути, и должны сводиться агроэкологические решения, основывающиеся на учете особенностей

7.4. Свойства природных и культивируемых экосистем, непосредственно влияющие на их стабильность и способность накапливать питательные элементы (Вудмэнси, 1987)

Свойства	Экосистемы		Свойства	Экосистемы	
	природные	культивируемые		природные	культивируемые
<i>Абиотические</i>			<i>Биотические</i>		
Скорость инфильтрации	Высокая	Низкая	Внутренний круговорот веществ, осуществляемый растениями	Выше	Ниже
Объем стока	Низкий	Высокий	Синхронизация активности растений и микроорганизмов	Высокая	Низкая
Эрозия	Низкая	Высокая	Разнообразие биологической активности по времени	Высокое	Низкое
Растительный покров	Значительный	Малый	Соотношение активности растений и микроорганизмов	1	Менее 1
Опад и другие остатки	Много	Мало	Разнообразие растительных популяций	Высокое	Низкое
Камни	Много	Мало	Генетическое разнообразие	Высокое	Низкое
Потери почвенной влаги на испарение	Высокие	Низкие	Потенциал воспроизводства	Высокий	Низкий
Почвенные коллоиды	Много	Мало			
Потери на вымывание	Низкие	Высокие			
Температура почвы	Ниже	Выше			

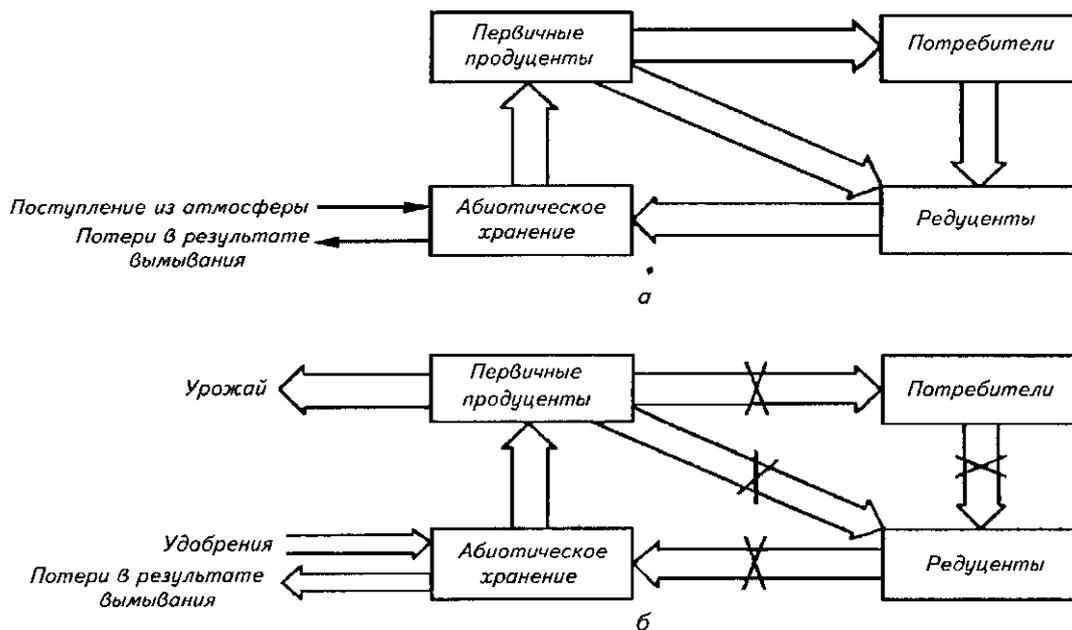


Рис. 7.7. Перенос питательных веществ в основные компоненты природных экосистем (а) и агроэкосистем (б) (Кросли мл. и др., 1987)

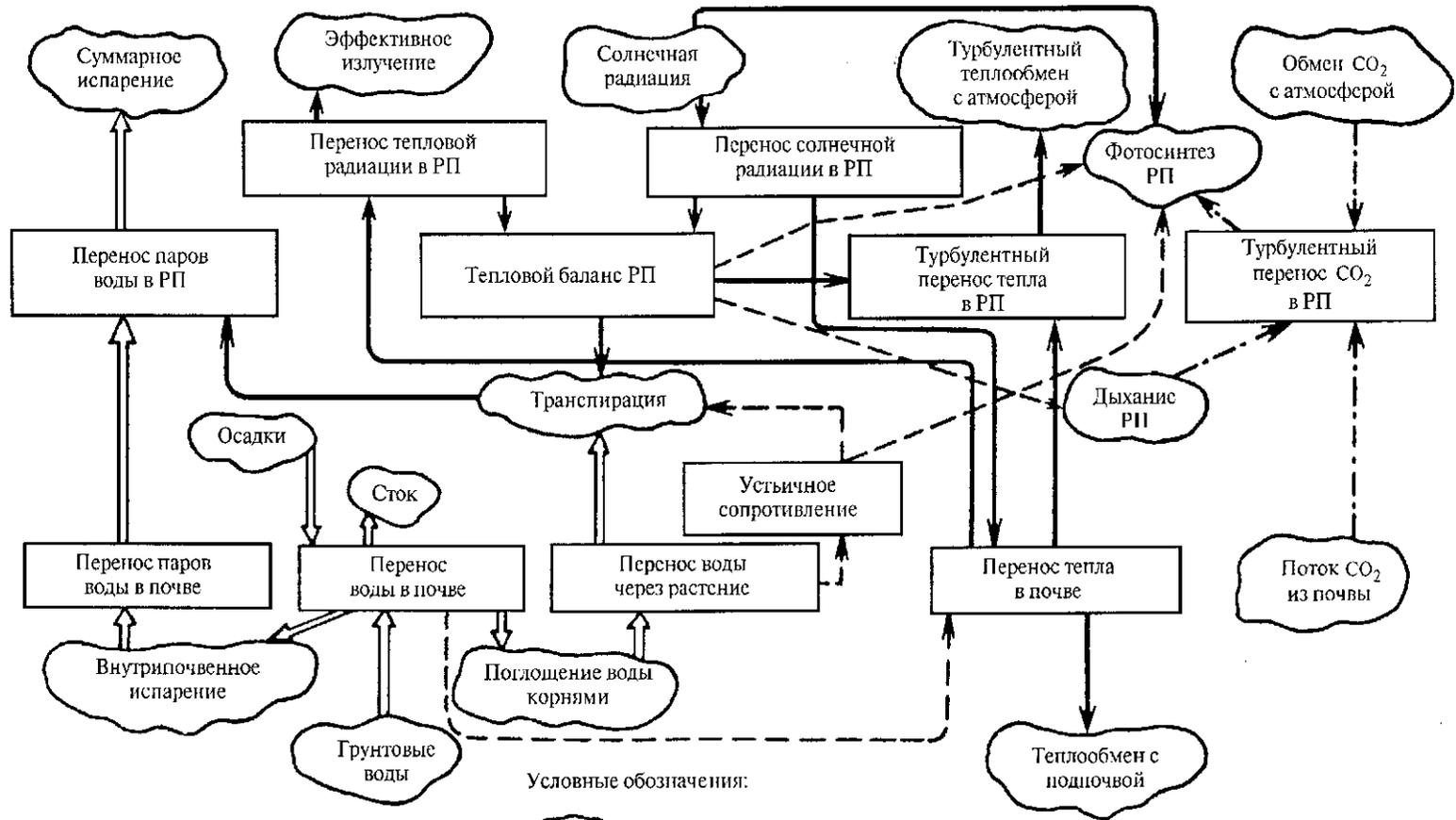


Рис. 7.8. Энерго- и массообмен в агроэкосистеме:
 РП — растительный покров (Сиротенко, 1986)

массо- и энергообмена в агроэкосистемах (рис. 7.8).

Продукционный процесс агроэкосистемы зависит не от разрозненно действующих абиотических (местоположение, солнечная радиация, тепловой и водный режимы, минеральное питание и др.), биотических и антропогенных факторов, а одновременно от всего их комплекса (резльтирующий вектор сложных комбинаций межфакторных

взаимодействий). Продуктивность агроэкосистемы обеспечивается интенсивностью и направленностью процессов обмена веществ и переноса энергии между возделываемой культурой и окружающей природной средой, находящейся под управлением человека. От качества управления, степени его природосообразности зависит в конечном итоге экосистемный уровень биологической организации агроэкосистем.

Глава 8 ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АГРОЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

8.1. ТЕХНОГЕНЕЗ

Непрерывно изменяя и преобразовывая вещества и предметы природной среды, люди обеспечивают себе благоприятные условия и средства существования. На более высоких ступенях общественного развития начинается преобразование и самой среды. В конечном итоге каждый продукт труда представляет собой результат совместных действий людей и природы, а уровень развития производительных сил общества отражает масштабы такого взаимодействия.

По мере роста производительных сил использование природно-ресурсного потенциала неуклонно расширяется, степень «участия» природной среды в системе общественного производства возрастает, что обуславливает в итоге постоянное усиление разностороннего антропогенного воздействия на природные комплексы и их компоненты.

Прямым следствием такого воздействия является, несомненно, формирование и развитие процессов техногенеза. *Техногенез* — это процесс изменения природных комплексов под воздействием производственной деятельности человека. Заключается в преобразовании биосферы, вызываемом совокупностью геохимических процессов, связанных с технической и технологической деятельностью людей по извлечению из окружающей среды, концентрации и переработке целого ряда химических элементов, их минеральных и органических соединений.

В результате промышленной, сельскохозяйственной и иной многоплановой деятельности человека возникает техногенная миграция значительных объемов разнообразнейших веществ, большинство из которых загрязняют окружающую природную среду (табл. 8.1, 8.2, 8.3).

8.1. Объем (млн т) и структура отходов производства и потребления в мире в 1970 г. (Торчешников и др., 1981, с изменениями)

Категория отходов	Производство «классической» энергии	Промышленность	Сельское хозяйство	Коммунально-бытовой сектор	Всего
Главные газообразные вещества, загрязняющие атмосферу	17326	47	1460	873	19 706
Выброс твердых частиц в атмосферу	133	91	14	3	241
Твердые отходы	—	4000	—	1000	5000
Углеводороды	42	14	9	4	69
Органические отходы	—	—	4500	30	4530
Фекальные отходы	—	—	9400	180	9580
Итого	17501	4152	15 383	2090	39 126

8.2. Масса загрязняющих веществ, образующихся в процессе хозяйственной деятельности на душу населения и 1 км² территории (Лосев и др., 1993)

Единица измерения	Атмосферные		Сточные воды	Водные	Твердые отходы	
	всего	вредные			всего	вредные
Т/год на 1 чел.	13	0,24	500	0,30	53	17,7
Т/год на 1 км ²	66	1,60	4500	2,50	700	230,0

8.3. Количество некоторых опасных атмосферных и водных загрязняющих веществ, приходящееся на одного человека в России в 1989 г.* (Лосев и др., 1993)

Атмосфера					Вода		
Оксид углерода	Углеводороды	Свинец	Ртуть	Бенз (а)-пирен	Фториды	Фенол	Тяжелые металлы
60 кг	40 кг	23 г	170 мг	100 мг	90 г	30 г	14 г

*Без учета транспортных выбросов; остаточных количеств пестицидов; диоксинов; особо токсичных отходов, которых в расчете на одного жителя России приходится около 130 кг.

На долю сельского хозяйства в 1970 г. приходилось более 39 % отходов. Данная величина в абсолютном выражении в последнее время существенно возросла. Это важно иметь в виду при разработке природоохранных мероприятий, поскольку процессы техногенеза, как правило, объясняют энергетическими, промышленными и транспортными воздействиями. Из-за структурной специфики сельскохозяйственных отходов и своеобразия последующих трансформационных процессов непосредственный контакт их и взаимодействие с природными компонентами (почвой, водой и др.) происходят весьма активно.

Материалы, приведенные в таблицах 8.2. и 8.3, дают усредненную картину влияния загрязняющих веществ на территорию и людей. По сути дела в России уже сформировалось «единое поле загрязнений», ставшее значимым фактором дестабилизации естественных и искусственных экологических сообществ.

Примерно на трети площади суши явно не проявляется деятельность человека. Ориентировочно такого рода «свободные» территории составляют (%): в Северной Америке — 37,5; странах СНГ — 33,6; Австралии и Океании — 27,8; Африке — 27,5; Южной Америке — 20,8; Азии — 18,6; Европе — 2,8. Лишь Антарктида практически не подвержена антропогенному вмешательству. По мнению В.Л.Лапина и др. (1996), степень экологического неблагополучия, обус-

ловленного хозяйственной деятельностью, носит отчетливо выраженный региональный характер.

8.2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Загрязнение. Интегральный показатель последствий техногенеза — загрязнение окружающей природной среды. Загрязнением в узком смысле считается привнесение в какую-либо среду новых, нехарактерных для нее физических, химических и биологических агентов или превышение естественного среднесуточного уровня содержания этих агентов в среде. Например, в «Толковом словаре по охране природы» (1995) дается такое определение; загрязнение — все то, что находится не в том месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы, что выводит ее системы из состояния равновесия и отличается от обычно наблюдаемой нормы. Загрязнение может быть вызвано любым агентом (загрязняющим веществом), в том числе самым чистым. Загрязнение может возникать как в результате естественных причин (природное), так и под влиянием деятельности человека (антропогенное).

С экологических позиций загрязнение означает не просто привнесение чуждых компонентов. В любом случае объектом загрязнения является элементарная структурная единица биосфе-

ры — биогеоценоз. Наличие чужеродных веществ обуславливает изменение эволюционно сложившихся режимов экологических факторов, что приводит к нарушению обменных и продукционных процессов, а следовательно, и к падению продуктивности биогеоценозов в целом. Загрязнение представляет собой комплекс «помех» в экологических системах, приводящий к их деградации.

С экологической точки зрения сущность загрязняющих воздействий более адекватно отражает определение, приводимое Г. В. Стадницким и А. И. Родионовым (1988): загрязнение окружающей среды есть любое внесение в ту или иную экологическую систему (биогеоценоз) несвойственных ей живых или неживых компонентов или структурных изменений, прерывающих круговорот веществ, их ассимиляцию, поток энергии, вследствие чего снижается продуктивность данной экосистемы или она разрушается.

Заслуживает, разумеется, внимания и более широкое толкование термина «загрязнение», содержащееся в докладе комиссии Белого дома (США, 1965) «Чтобы восстановить качество окружающей среды»: «Загрязнение есть неблагоприятное изменение окружающей среды, которое целиком или частично является результатом человеческой деятельности, прямо или косвенно меняет распределение приходящей энергии, уровни радиации, физико-химические свойства окружающей среды и условия существования живых существ. Эти изменения могут влиять на человека прямо или через сельскохозяйственные ресурсы, через воду или другие биологические продукты (вещества). Они также могут воздействовать на человека, ухудшая физические свойства предметов, находящихся в его собственности, условия отдыха на природе и обезобразивая ее саму»*.

По своей сути загрязнение является нежелательной потерей веществ, энергии, труда и средств, используемых при добыче и заготовке сырья и материалов, которые превращаются в безвозвратные отходы, рассеиваемые в биосфере. За-

грязнение становится причиной необратимого разрушения экологических систем, воздействует на глобальные физико-химические параметры среды; в результате загрязнения происходит потеря плодородных земель, падает продуктивность экологических систем и биосферы в целом; из-за загрязнения непосредственно или опосредованно ухудшается физическое и моральное состояние человека. В соответствии с материалами Международной конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (1991) к экологически опасным отнесены следующие виды производств и объектов:

атомная промышленность (установки, предназначенные для производства обогащенного ядерного топлива, регенерации отработанного ядерного топлива или сбора, удаления и переработки радиоактивных отходов);

энергетика (атомные, гидравлические и тепловые электростанции, крупные установки для сжигания топлива);

черная и цветная металлургия (установки для доменного и мартеновского производств, предприятия черной и цветной металлургии, машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия);

нефтехимия, нефте- и газопереработка;

химическая промышленность (химические комбинаты, производство асбеста, стекла, минеральных удобрений, пестицидов и др.);

добыча полезных ископаемых (включая нефть и газ);

транспортировка нефти и газа, продуктов их переработки;

производство целлюлозы, бумаги, картона;

транспортировка, хранение, утилизация и захоронение токсичных и ядовитых отходов;

производство, хранение, транспортировка и уничтожение боеприпасов, взрывчатых веществ и ракетного топлива;

крупные склады для хранения нефтяных, нефтехимических, химических продуктов, пестицидов;

строительство дорог, автострад, трасс для железных дорог дальнего со-

* Цит. по: Рамад Ф. Основы прикладной экологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 167.

общения, аэропортов с длиной посадочной полосы более 2 км;

сельскохозяйственные объекты (животноводческие комплексы и птицефабрики, мелиоративные системы);

крупные водозаборы поверхностных и подземных вод;

крупные плотины и водохранилища, вырубка лесов на больших площадях;

легкая промышленность (фабрики по очистке, отбеливанию шерсти, кожевенные заводы, красильные фабрики).

Кроме указанных стационарных источников возможных негативных воздействий на окружающую природную среду несомненную экологическую опасность, особенно в больших городах, представляет автотранспорт, газовые выбросы которого, возрастая с каждым годом, составляют значительную долю поступающих загрязнений.

Классификация загрязняющих факторов. Загрязняющие факторы по физико-химическим параметрам подразделяют на механические, физические (энергетические), химические и биологические. Механические источники загрязнения представлены инертными пылевыми частицами в атмосфере, твердыми частицами и разнообразными предметами в воде и почве. К химическим источникам загрязнения относятся газообразные, жидкие и твердые химические элементы и соединения, попадающие в атмосферу и взаимодействующие с компонентами окружающей природной среды. Физическими (энергетическими) источниками загрязнения являются тепло, шум, вибрации, ультразвук, видимые, инфракрасные и ультрафиолетовые части спектра световой энергии, электромагнитные поля, ионизирующие излучения. Биологические загрязнения связаны с различными видами организмов, по-

явившихся при участии человека и причиняющих вред ему самому или живой природе. Сравнительно недавно к загрязнениям начали относить нарушение природных ландшафтов и пейзажей, урбанизацию и т. п.

Ф. Рамад (1981), обращая внимание на то, что ни одна классификация загрязнений не может быть достаточно удовлетворительной из-за многочисленности критериев, по которым ее можно осуществлять, также выделяет физические, химические и биологические загрязнения и эстетический вред.

В свете современных представлений наиболее содержательной является классификация загрязнений экологических систем, основанная на системном подходе (Стадницкий, Родионов, 1988) (рис. 8.1). Под ингредиентным загрязнением понимают совокупность веществ, количественно или качественно чуждых естественным биогеоценозам. Параметрическое загрязнение заключается в изменении качественных параметров окружающей природной среды. Биоценотическое загрязнение связано с воздействием на состав и структуру популяций живых организмов. Стациально-деструкционное загрязнение представляет собой изменение ландшафтов и экологических систем в процессе природопользования и определяется интенсивностью трансформации естественных систем.

Рассматривая проблему загрязнений, нельзя не учитывать распространение их в природных средах (рис. 8.2). Перенос загрязнений, разумеется, возможен не только в одном направлении, как показано на рисунке, но и в противоположном.

Возможные формы перехода (миграции) загрязняющих веществ между природными средами (Израэль, 1984):

Природные среды	Возможная форма перехода (миграции) загрязняющих веществ
Атмосфера — атмосфера	Перенос в атмосфере, характерный для большинства загрязняющих веществ
Атмосфера — гидросфера	Осаждение (вымывание) атмосферных загрязнений на водную поверхность
Атмосфера — поверхность суши	Осаждение (вымывание) атмосферных загрязнений на земную поверхность (на сушу)
Атмосфера — биота	Осаждение загрязнений на поверхность насаждений с последующей ассимиляцией (внекорневое поступление загрязнений в биоту)
Гидросфера — атмосфера	Испарения из воды в атмосферу (например, нефтепродуктов, соединений ртути)
Гидросфера — гидросфера	Перенос (распространение) загрязнений в водных системах
Гидросфера — поверхность суши (дно рек, озер)	Переход из воды в почву (фильтрация, «самоочищение», осаждение на дно водоемов)

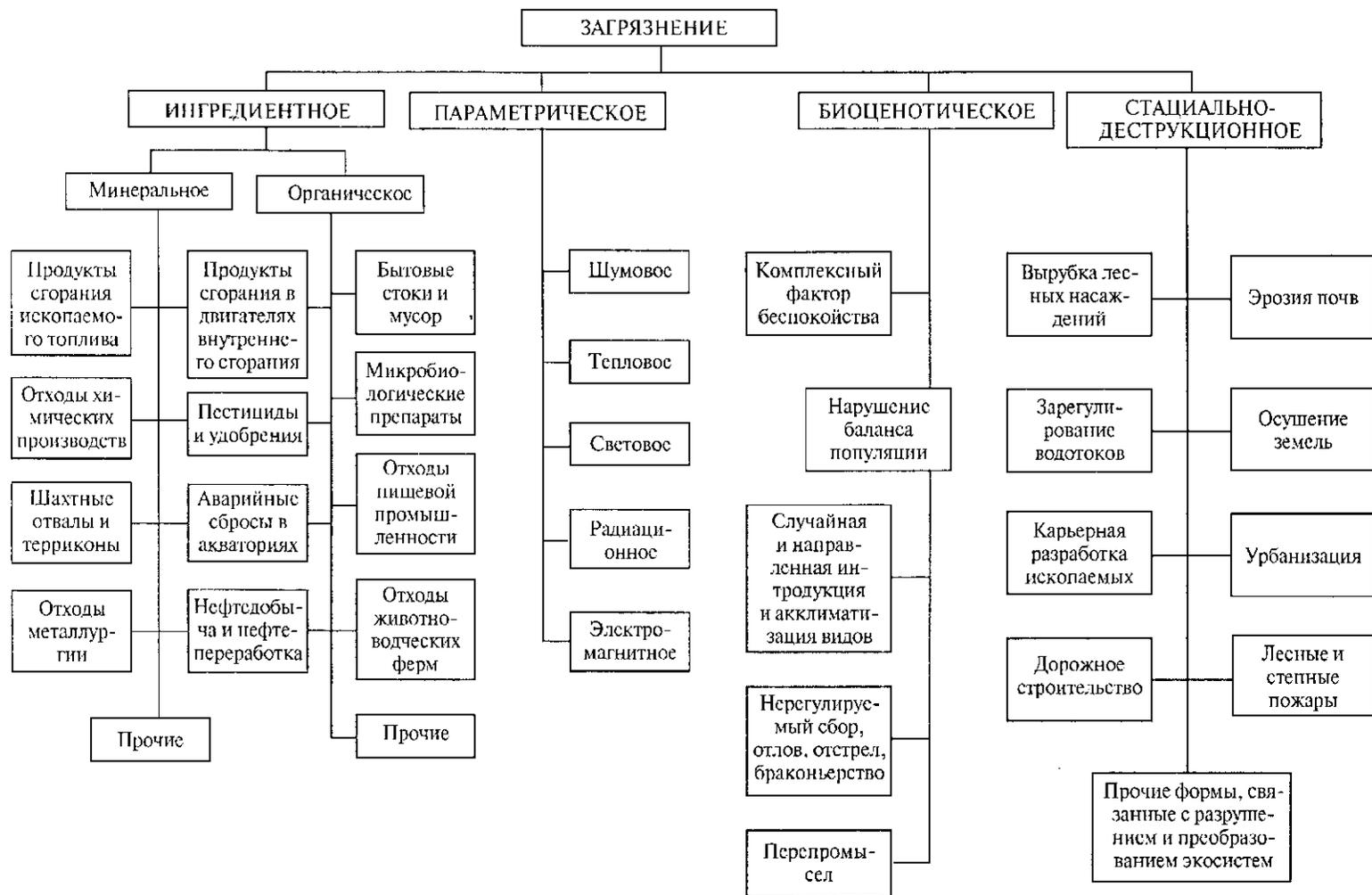


Рис. 8.1. Классификация загрязнения экологических систем (Стадницкий, Родионов, 1988)

Гидросфера — биота	Переход из поверхностных вод в биоту (наземные и водные экосистемы, поступление в организм животных и человека с питьевой водой)
Поверхность суши — атмосфера	Переход с поверхности суши, почвы в атмосферу (выветривание, испарение, перенос пыли)
Поверхность суши — гидросфера	Смыв загрязнений с суши во время снеготаяния, с осадками, временными водотоками
Поверхность суши — поверхность суши	Миграция в почве, ледниках, снежном покрове (проникновение загрязнений на разные глубины)
Поверхность суши — биота	Поступление загрязнений в растительность через корни
Биота — атмосфера	Испарения из биоты (малозначимые)
Биота — гидросфера	Попадание загрязнений из биоты в воду после гибели организмов
Биота — поверхность суши	Попадание загрязнений из биоты в почву, главным образом после гибели организма
Биота — биота	Миграция по пищевым цепям

Зная различные формы перехода загрязняющих веществ, можно оценивать воздействие в окружающей природной среде. При этом важно учитывать основные виды загрязнений и их источники:

Вид загрязнений	Отрасль промышленности, для которой характерен указанный вид загрязнений
	<i>Воздух</i>
Галогенсодержащие соединения	Химическая, холодильная
Металлические частицы	Металлургическая, горнодобывающая
Углеводороды	Тепловая энергетика, транспорт
CO ₂ , SO ₂ , NO, NO ₂	То же
	<i>Почва</i>
Активный ил	Городские станции биологической очистки
Зола, шлак	Энергетическая, металлургическая
Металлы	Металлургическая, химическая
Мусор	Коммунально-бытовое хозяйство, городское хозяйство
Пластмассы, органические вещества	Химическая
Радионуклиды	АЭС, военная
Целлюлоза и бумага	Целлюлозно-бумажная, коммунально-бытовое хозяйство
	<i>Вода</i>
Взвешенные частицы	Коммунально-бытовое хозяйство
Ионы тяжелых металлов	Горнодобывающая, машиностроительная
Красители, фенолы	Текстильная
Легкоусвояемые и биогенные вещества	Сельское хозяйство, городское хозяйство
Лигнины	Целлюлозно-бумажная
Минеральные соли	Химическая
Нефтепродукты	Нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая
Органические растворители	Химическая
Пестициды	Сельское хозяйство
Радиоактивные	АЭС, военная
Синтетические поверхностно-активные вещества	Городские стоки
Тепло	Энергетическая (АЭС, ТЭЦ, ГРЭС)

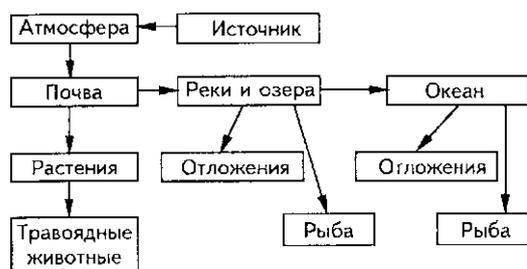


Рис. 8.2. Распространение загрязнений в природных средах и биоте (Израэль, 1984)

Для характеристики различных неблагоприятных воздействий применяют стресс-индексы загрязняющих веществ, отражающие меру экологической опасности:

Загрязняющие факторы	Стресс-индекс
Пестициды	140
Тяжелые металлы	135
Транспортируемые отходы АЭС	120
Твердые токсичные отходы	120
Взвешенные металлы в металлургии	90
Неочищенные сточные воды	85
Диоксид серы	72
Разливы нефти	72

Химические удобрения	63
Органические бытовые отходы	48
Оксиды азота	42
Хранилища радиоактивных отходов	40
Городской мусор	40
Фотохимические оксиданты	18
Летучие углеводороды в воздухе	18
Городские шумы	15
Оксид углерода	12

Последствия техногенеза. Агроэкологические системы, ставшие неотъемлемой составной частью современной биотехносферы, испытывают, как и естественные ценозы, постоянные техногенные воздействия, подвергаются влиянию различных загрязнений локального, регионального и глобального характера. Как отмечалось, загрязнения представляют собой систему помех, нарушающих процессы массо- и энергообмена. В агроэкологических системах это проявляется в изменении количественных и качественных характеристик составляющих их природных компонентов, снижении устойчивости и падении продуктивности возделываемых культур. В результате усложняется (и подчас существенно) достижение целевой функции — стабильного производства сельскохозяйственной продукции.

Простейшим примером формирования и последующего проявления техногенных процессов может служить рису-

нок 8.3. В районе источника интенсивных газопылевых выбросов по степени деградации растительного покрова отчетливо выделяются зоны: с отсутствием растительности или сильным ее угнетением (зона «техногенной пустыни»); среднего угнетения; слабого угнетения и неповрежденная (фоновая). В рассматриваемой ситуации общая площадь загрязнения почв и растений составила около 19 тыс. га, из них примерно 1,7 тыс. га приходилась на зону очень сильного угнетения.

И. Н. Лозановская с соавт. (1998), говоря о загрязнении атмосферного воздуха и почв, нарушении и даже полном уничтожении естественных фитоценозов, возможном изменении флористического состава разных типов растительности, образовании техногенных геохимических провинций и т. д. под влиянием газопылевых выбросов, обращают внимание на то, что зона активного загрязнения может простираться на 5...10 км, а нередко и на несколько десятков километров. Так, в зоне действия предприятий Норильского горно-металлургического комбината значительные изменения состояния и состава естественного фитоценоза обнаруживаются на расстоянии до 60...70 км от источника техногенных выбросов.

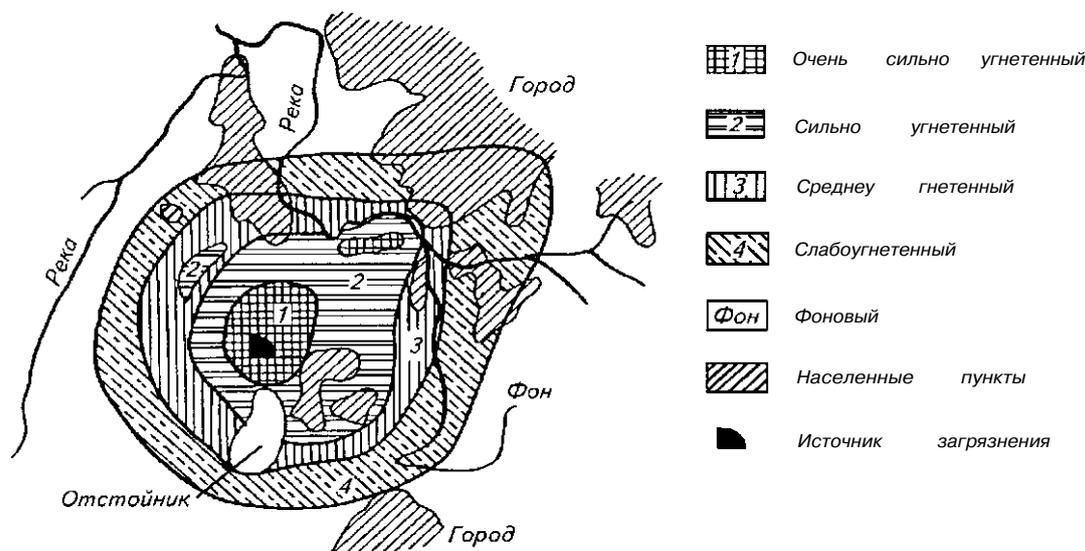


Рис. 8.3. Состояние растительного покрова в районе предприятий цветной металлургии (Лозановская и др., 1998)

Если же обратиться к агроэкосистемам, то можно отметить следующее. Последствия техногенеза отрицательно сказываются на состоянии почв. Например, число дождевых червей в пахотном слое почвы зависит от удаления от источника выброса и направления (E — восток, W — запад) (Луке, 1981):

У*	250 E	600 E	750 E	950 E
Ч**	0	0,5	5	7,5
У	1150 E	1400 E	1500 E	400 W
	9	16	33	63

*У — удаление от источника выброса, м.

**Ч — число дождевых червей в 100 л пахотного слоя почвы.

В почве этого ареала содержится 200...2000 частей на тысячу As, 100...200 частей на тысячу Pb и до 1000 частей на тысячу Zn. На расстоянии до 600 м в пахотных слоях черви практически полностью отсутствуют, на протяжении 1500 м их численность значительно снижена. Это свидетельствует об «омертвлении» почвы.

В результате действия загрязнений снижается продуктивность агроэкосистем (табл. 8.4).

8.4. Снижение урожайности сельскохозяйственных культур (%) в зависимости от расстояния до источника вредных выбросов в атмосферу (Балацкий, 1979)

Культура	Расстояние, км	
	2...3	5
Пшеница	18,7	9,4
Рожь	15,2	7,6
Ячмень	24,4	12,2
Овес	31,1	15,5
Кукуруза	25,0	12,5
Картофель	35...47	18...24
Свекла	25...62	13...31
Лен	62,6	31,3
Клевер	33,1	16,6
Люцерна	37,8	18,9

При скармливании на протяжении двух лет (в общей сложности 37 нед) лактирующим коровам загрязненных кормов удой по сравнению с удоями животных, получавших только промытые корма, были в среднем на 19,8 % ниже. При использовании загрязненных кормов наблюдалось снижение прироста массы у крупного рогатого скота на 19,4...37,5 %.

На рисунках 8.4 и 8.5 приведены

схемы, позволяющие лучше понять характер, направленность и особенности взаимосвязей, формирующихся в функционально сложившейся системе: техногенные воздействия — окружающая среда — растения — животные — человек, а также сложность этих взаимосвязей. Продукты техногенеза в виде разнообразных загрязняющих веществ проходят многостадийные превращения, что необходимо учитывать при формировании продуктивных агроэкосистем.

Центральное место в агроэкосистемах занимают продуценты (автотрофное звено), представляемые широким набором культивируемых растений. Именно в этом звене в значительной мере непосредственно и опосредованно депонируются продукты техногенеза, прежде всего газопылевые выбросы (рис. 8.6). Различают невидимые воздействия загрязнений на растительность и видимые повреждения.

К основным невидимым воздействиям относятся: загрязнение растительного материала газообразными или твердыми компонентами вредных веществ, которые поглощаются частями растений, скапливаясь внутри или прилипают (некоторые компоненты, будучи неопасными для растений или отдельных их органов, при дальнейшем использовании растительного материала могут оказаться токсичными); реакции в растительном обмене веществ, проходящие в течение короткого времени (например, при высокой концентрации ингредиентов-загрязнителей), они представляют собой скрытое предварительное воздействие, которое в сочетании с другими факторами среды усиливает негативный эффект; структурные изменения внутри клеток.

К внешним, в той или иной степени выраженным изменениям относятся следующие: загрязнения (например, от сажи, летучей золы, цементной пыли, оксида железа и др.), особенно на шероховатых, покрытых волосками, клейких или влажных частях растений; прилипающая пассивная пыль (до образования корки при определенных условиях); прилипающая токсичная пыль, содержащая Pb, As или F; некроз, проявляющийся в изменении цвета или ожогах на

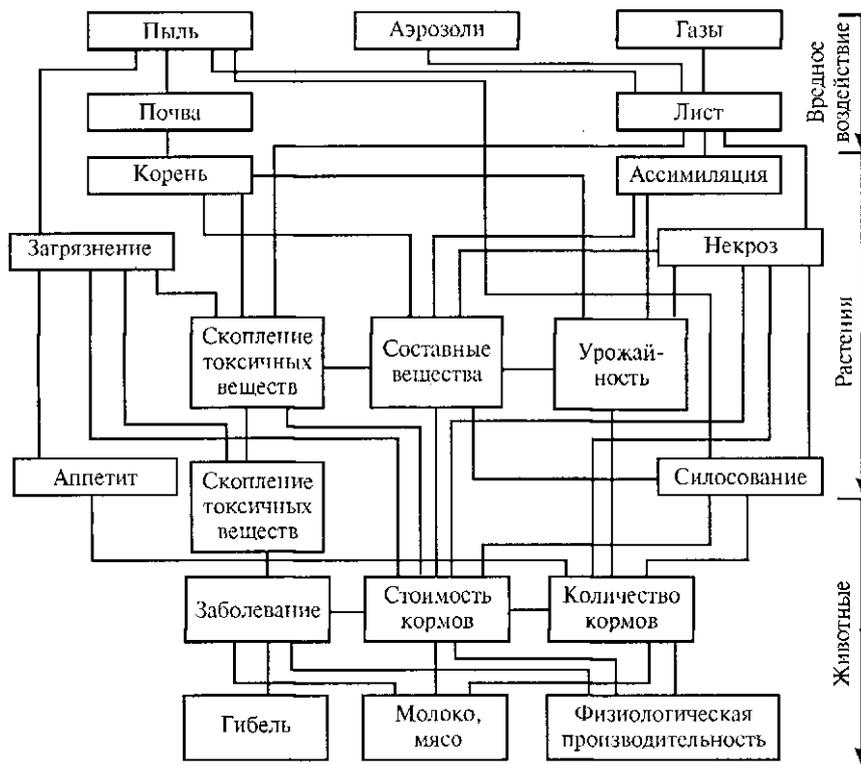


Рис. 8.4. Основные возможные взаимосвязи в цепи: вредное воздействие — растения — животные (Dassler und Bortitz, 1971)

листьях и хвоинках или других частях растений в результате воздействия SO_2 , HF, SiF_4 , SO_3 , HCl; некротические изменения цвета кончиков или краев листьев или частей хвоинок, межреберных полей листьев или некроз всего листа (хвоинки) (рис. 8.7); верхушечный некроз на плодах под действием HF; преждевременный опад листьев или хвоинок; депрессия роста функционально важных или предназначенных для использования частей растений в результате снижения ассимиляции (например, очень маленькие листья или хвоинки, уменьшение зеленой массы, урожая плодов, выхода древесины); потери зеленой массы из-за некроза или преждевременного опадения листьев, а также вследствие нарушения роста корневой системы из-за попавших в землю токсичных веществ.

Действие загрязняющих веществ на растения зависит от их вида и концентрации, длительности воздействия, от-

носительной восприимчивости видов или отдельных растений к дымам и газам, стадии физиологического развития, в которой находится растение или его часть. Ведущие факторы — концентрация и продолжительность воздействия вредных ингредиентов.

Сельскохозяйственные растения обладают разной устойчивостью к токсикантам. Хроническое воздействие некоторых токсичных газов, оцениваемое по снижению продуктивности или других функций растений, в разной степени опасно для различных культур (табл. 8.5).

8.5. Степень токсичности основных атмосферных загрязняющих веществ для различных сельскохозяйственных культур (Гудериан, 1979)

Культуры	SO_2	HF	HCl
<i>Основные сельскохозяйственные культуры</i>			
Зерновые, включая кукурузу	2	2	3
Подсолнечник и другие маелючные	1	1	2

Продолжение				Продолжение			
Культуры	S0 ₂	HF	НСl	Культуры	S0 ₂	HF	НСl
Картофель	1	1	2	<i>Декоративные растения</i>			
Свекла, капуста	2	3	2	Растения семейств:			
Растения семейства Тыквенные	1	1	1	Лилейные	1	5	2
<i>Кормовые культуры</i>				Лютиковые, Розанные	2	2	2
Зерновые, злаки и злаковые травы	2	5	3	Бобовые	3	3	3
Кормовые бобовые	3	5	3	Гераниевые	1	1	1
Кормовая капуста	1	5	1	Аралиевые	1	1	1
<i>Плодовые и ягодные культуры</i>				Гвоздичные	2	3	1
Семечковые	4	4	5	Вересковые	1	1	1
Косточковые	2	5	3	Сложноцветные	1	1	1
Ягодные, грецкий орех	5	5	4	Примечание. Цифрами обозначена степень токсичности: 1 — очень слабая; 2 — слабая; 3 — средняя; 4 — сильная; 5 — очень сильная. Для кормовых растений оценка проведена по зеленому корму, сену и силосу.			
Лещина	3	5	5				
Виноград	3	5	5				
Земляника садовая	1	5	5				
<i>Лесные культуры</i>							
Пихта, ель, сосна веймутова, дугласова пихта	5	5	5				
Сосна, туя, тисе, кипарисовик, можжевельник, лиственные деревья	3	3	3	Немалый вред наносят растениям соединения серы, попадающие в атмосферу вследствие техногенных выбросов. Сера — один из элементов минерально-			

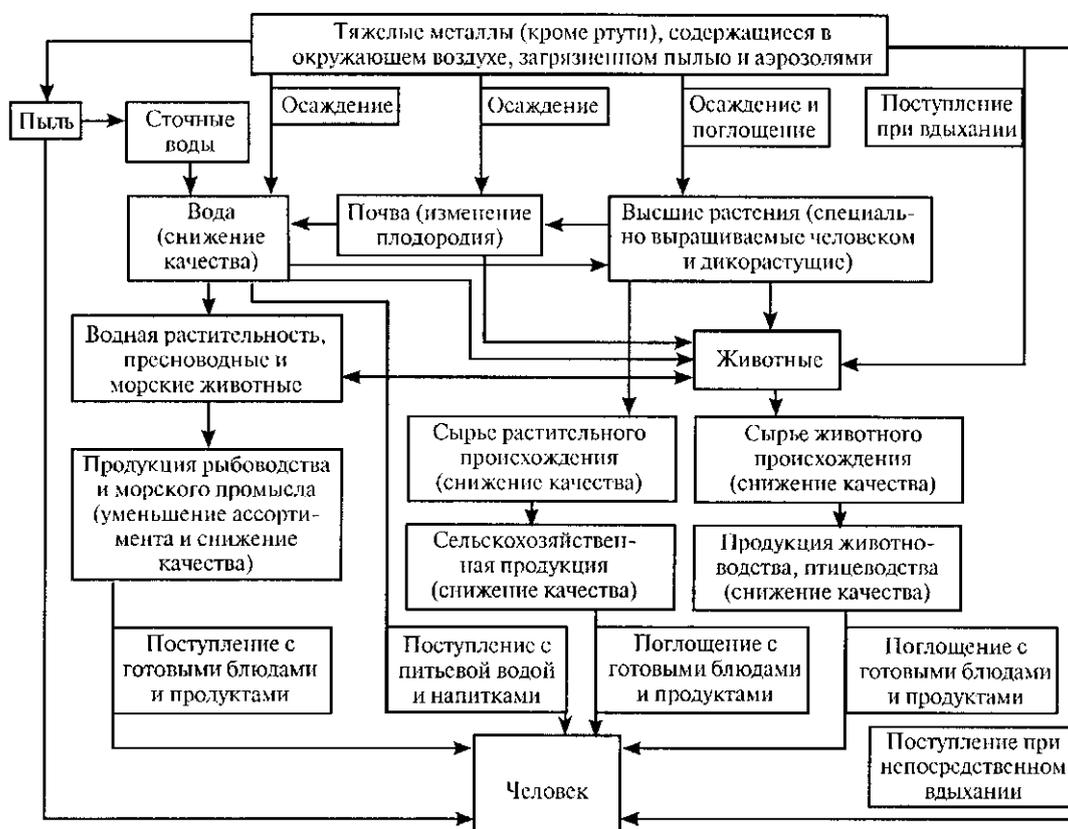


Рис. 8.5. Влияние аэротехногенного загрязнения (пылевого и аэрозольного) на качество используемых природных вод, сырья (растительного и животного происхождения), пищевой продукции, а также отрицательное воздействие тяжелых металлов на организм человека (Киприянов, 1997)

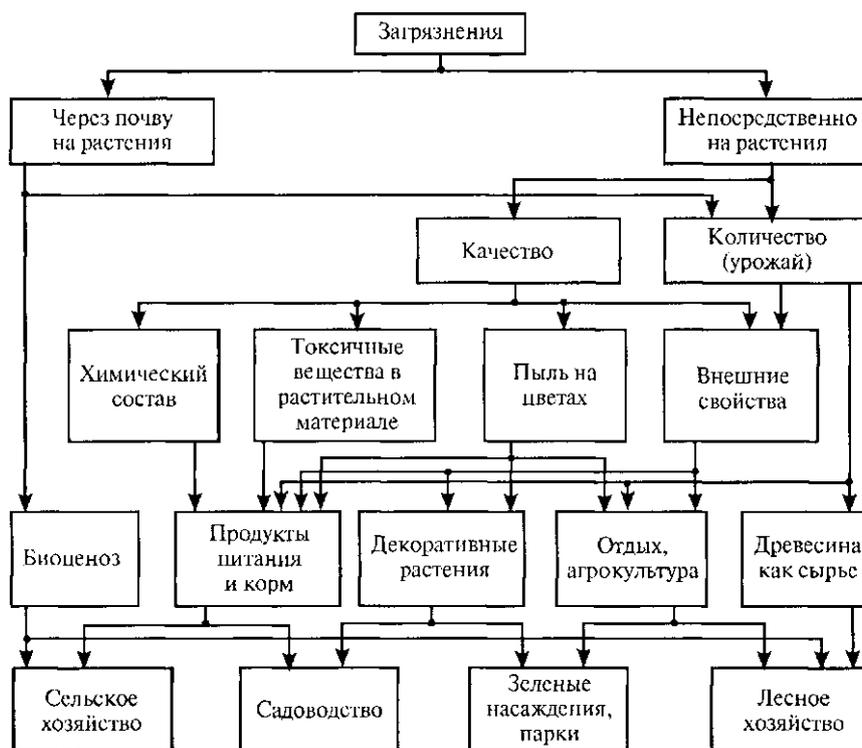


Рис. 8.6. Влияние загрязнения воздуха на растительность (Dassler, 1976)

го питания растений. В небольших количествах и низких концентрациях ее соединения оказывают стимулирующее действие на рост и урожайность сельскохозяйственных культур, особенно на дефицитных по этому элементу почвах. При высоких же концентрациях у растений возникают физиологические расстройства, приводящие к заметному снижению продуктивности.

Реакция растений на воздействие SO_2 определяется, в частности, сорто-типом, временем посадки, возрастом, интенсивностью освещения, температурой воздуха, влажностью почвы. Поражение растений серой внешне проявляется в виде белых и коричневых некротических пятен, а также в виде межжилкового некроза. Нередко повреждение растений происходит без видимых симптомов, но с нарушениями основных процессов метаболизма, роста, репродуктивного развития.

Соединения серы отрицательно влияют на фотосинтез. Диоксид серы вы-

зывает снижение содержания хлорофилла в листьях, уровня фотосинтеза и нарушает распределение его продуктов. Значительное ингибирование (на 30 %) транслокации ассимилятов (АТФ) обнаружено у 3 фасоли при концентрации SO_2 0,1 мг/м³. Ингибирование фотосинтеза при уменьшении воздействия SO_2 может быть обратимым, а транслокация — нет.

Изучение структуры хлоропластов кукурузы при воздействии SO_2 показало заметное повреждение мембран тилакоидов, снижение количества гран, утончение и увеличение беспорядочности стромы. Снижается также способность мезофилла листьев кукурузы к фотосинтетическому поглощению CO_2 . Отмечено, что при фумигации у растений снижается интенсивность ростовых процессов, закручиваются края листьев и т.п.

Быстрая тест-реакция пшеницы на увеличение концентрации серы в атмосфере позволяет использовать это ра-

стение в качестве раннего индикатора стресса, как сигнал о начале снижения биологической продуктивности.

С ростом концентрации диоксида серы нарушается способность растений сохранять и накапливать влагу в клетках, что связано с повреждением клеток эпидермиса и нарушением функционирования устьиц и влечет за собой снижение устойчивости растений к засухе. Зарубежные исследователи отмечают, что нарушение процессов метаболизма во многом связано с изменением рН при поглощении SO_2 . Диоксид серы разрушает двойной липидный слой и внутреннюю белковую мембрану, что увеличивает проницаемость для катионов калия, кальция, а также Сахаров, происходит отток минеральных солей, резко снижается рН. При взаимодей-

ствии SO_2 с водой в клетках освобождаются протоны (H^+) и анионы (HSO_3^- и SO_3^{2-}). Освобождение протонов ведет к значительному снижению рН, и, если нет механизмов, компенсирующих этот процесс, происходит нарушение чувствительности к рН фотосинтеза, активности ферментов цикла Кальвина и т. д.

При низких концентрациях диоксида серы (20 мкг/м^3) у растений включается механизм репарации, заключающийся в удалении протонов, образовании слабых кислот при взаимодействии с анионами, окислении эндогенных органических кислот в CO_2 , «накачивании» протонов в кислотоустойчивые части клетки. При высоких концентрациях SO_2 возможности растений к детоксикации ограничены.

Зарубежные авторы отмечают, что 70 % диоксида серы, попавшего в листья ячменя, превращается в серную кислоту, 30 % детоксицируется. Один из путей детоксикации при аккумуляции серы в клетках — образование свободных аминокислот, содержащих серу (цистеин, метионин, глутатион), что подтверждается значительным увеличением содержания этих веществ в клетках в ответ на воздействие SO_2 .

Считается, что фитотоксичные концентрации SO_2 находятся в интервале $50 \dots 90 \text{ мкг/м}^3$. Картофель выдерживает довольно большие концентрации SO_2 в воздухе (250 мкг/м^3) без существенных изменений по некоторым показателям.

Опасный токсикант для сельскохозяйственных растений — фтор. Соединения фтора могут быть газообразными (HF , SiF_4 , H_2SiF_2 , CF_4); это могут быть твердые частицы и аэрозоли (NaF , CaF_2 , Na_3AlF_6 , AlF_3 , Na_2SiF_6). Содержание фтора в атмосфере для незагрязненных агроэкосистем составляет $1 \cdot 10^{-4} \text{ мг/м}^3$. Основная опасность загрязнения фтористыми соединениями обусловлена высокой химической активностью накапливаемых токсичных водорастворимых форм. Соединения фтора вступают в реакции как с органическими, так и с неорганическими компонентами почвы. При адсорбции почвой анионы фтора взаимодействуют с почвенно-поглощающим комплексом, частицы которого приобретают отрица-

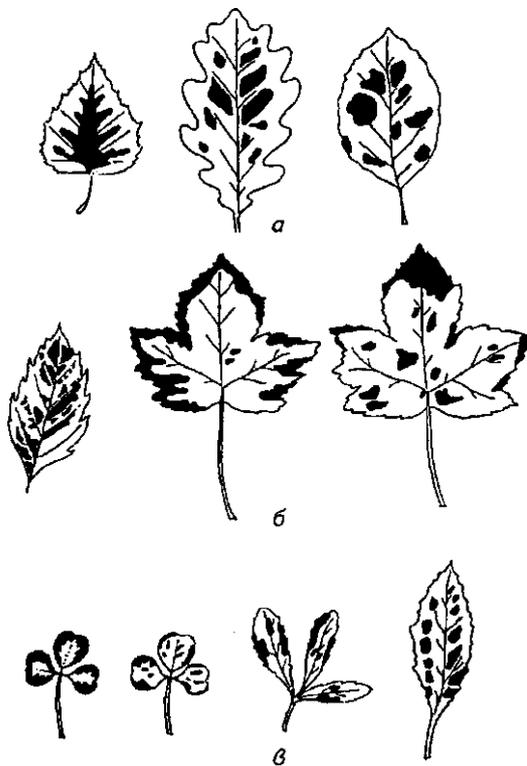


Рис. 8.7. Схематическое изображение типичных симптомов повреждения листьев лиственных деревьев и травянистых растений после воздействия SO_2 :

а — береза, дуб скальный и бук лесной; б — георгина и явор; в — клевер, люцерна и рапс (Bortitz, 1976)

тельный заряд и начинают отталкиваться друг от друга. В результате происходит диспергирование почвенной массы, изменение физико-химических свойств почвы и, как следствие, снижение плодородия.

Согласно современным представлениям, фтор не участвует в обмене веществ у большинства растений, детоксикации не происходит, в результате соединения фтора в растениеводческой продукции могут накапливаться в концентрациях, токсичных для человека и животных. Симптомы интоксикации начинают проявляться при накоплении фтора в тканях в концентрации более 1,5...2,0 мг/кг.

Характер и степень повреждения растений зависят от форм фтора, его концентрации, времени воздействия, чувствительности и возраста, вида растений, содержания минеральных элементов питания, полевой влагоемкости и температуры воздуха. Симптомы повреждения растений проявляются в виде краевого и верхушечного некрозов листьев. При сильном токсикозе лист окрашивается в красновато-коричневый цвет. Устойчивы к повреждению фтором хлопчатник и чайные культуры, у которых в тканях образуются комплексы $Al - F$, что снижает токсичность обоих элементов. Для оценки влияния фтора в качестве биоиндикатора можно использовать гладиолус. При интоксикации растений фтором происходит его накопление в растениях, снижение содержания хлорофилла и интенсивности фотосинтеза, биосинтеза белка, усиление дыхания, ингибирование активности фитогормонов, нарушение минерального питания из-за связывания Ca , Mg , Mn . Из-за интоксикации снижается урожай и ухудшается его качество.

Сельскохозяйственные культуры нельзя выращивать на расстоянии ближе 3 км от источника фтористых выбросов. Корма, загрязненные фтором, целесообразно смешивать с чистыми. Солону следует использовать только на подстилку. Для снижения негативного воздействия фтора на продуктивность зерновых культур полезно проводить 3-кратное опрыскивание растений 0,1%-ным раствором кальциевой селитры.

В таблице 8.5 не упомянуты (а между тем заслуживают внимания) являющиеся продуктами техногенеза азотистые соединения. В определенных количествах они также негативно сказываются на состоянии агроэкосистем. Непосредственно в атмосферу при высокотемпературном горении поступает оксид азота (NO), который быстро окисляется до диоксида азота (NO_2).

Диоксид азота участвует в фотохимических реакциях; в результате образуются сильные окислители (озон и пероксиацетилнитраты). А вместе с диоксидом серы NO_2 образует кислые аэрозоли и осадки.

В небольших количествах диоксид азота может служить источником минерального питания для растений и стимулировать физиологические процессы (фотосинтез, биосинтез белка и т. д.). В литературе имеются сведения о том, что оксиды азота, поглощенные растениями, метаболизируются по схеме: $NO_x^- - NO_3^- - NO_2^- - NH_4^+$ — аминокислоты — белки. Образующиеся же при ассимиляции оксидов азота нитриты (NO_2^-) очень токсичны и тормозят различные физиологические процессы. У некоторых растений может образовываться аммиак, который вызывает повреждение клеток. В растительных тканях обнаруживается около 65 % поглощенного диоксида азота. Это, по-видимому, означает, что ассимиляция NO_x связана прежде всего с детоксикацией загрязняющего вещества, а не с питательной функцией.

При высоких концентрациях оксидов азота (что обычно наблюдается в непосредственной близости от промышленных объектов и автомобильных дорог) сельскохозяйственные культуры могут сильно повреждаться, что сказывается на продуктивности агроэкосистем. Симптомы поражения соединениями азота проявляются в виде темных и коричневых некротических пятен на листьях, межжилковом некрозе, снижении интенсивности роста, нарушении процессов фотосинтеза, усилении поражаемости болезнями и вредителями, уменьшении устойчивости к стрессам.

В сильно загрязненных районах у растений вырабатывается устойчивость к

загрязнению O_3 , SO_2 , NO_2 . Характерно, что на таких территориях у коренных популяций луговых трав при воздействии O_3 , SO_2 , NO_2 не наблюдалось замедления роста и снижения урожая по сравнению с популяциями из «чистых» районов. Обработка проростков сои SO_2 в низких концентрациях заметно повышала их устойчивость к этому загрязнителю. Сорты пшеницы, выведенные в начале XX века, оказались менее устойчивы к SO_2 и NO_2 , чем современные.

Характер физиологических и биохимических изменений в растениях в ответ на загрязнение воздуха сходен с характером изменений в ответ на другие стрессы (высокие дозы пестицидов, засоление, засуха). Стресс вызывает у растений изменение активности ферментов; метаболиты начинают накапливаться в молодых листьях и побегах. Техногенное воздействие на растения оксидов азота и серы стимулирует рост содержания в них абсцизовой кислоты — гормона покоя. В полевых условиях под влиянием абсцизовой кислоты повышаются засухоустойчивость, иммунитет к болезням, происходит перераспределение ассимилятов (усиливается отток из стеблей в клубни, корнеплоды и т. д.).

Загрязняющие вещества, с одной стороны, концентрируются непосредственно в тканях растений, а с другой — меняют условия среды их обитания. У многих растений наряду с морфоструктурными механизмами защиты от чужеродных веществ существуют биохимические механизмы детоксикации и окислительной деградации поглощенных токсикантов. Установлена, напри-

мер, способность высших растений поглощать и утилизировать наиболее токсичные органические ингредиенты. Изучение и понимание этих механизмов весьма существенно для грамотной борьбы с химическим загрязнением воздуха, водоемов и почвы.

Согласно литературным данным, приспособление растений к токсикантам транспортно-промышленного происхождения осуществляется следующими способами:

ксерофитизация, главным образом утолщение кутикулы, увеличение волосков и т. п., в результате чего уменьшаются скорость поступления токсикантов и их количество;

физиологическая приспособляемость — усиление действия механизмов обеззараживания и аккумуляции токсических веществ путем использования их в метаболизме либо удаление из организма за счет большой катион-анионной емкости; данное направление является наиболее сложным и многовариантным;

естественный отбор; наиболее приспособленные к хемовариабельным условиям особи обеспечивают заполнение территории растениями.

В качестве интегральной характеристики состояния агроэкосистем целесообразно использовать показатели экологического неблагополучия (табл. 8.6), соответствующие норме, риску, катастрофе и бедствию.

Норма (Н) — состояние системы, отвечающее области ее равновесия, устойчивости (обычно область наиболее вероятных состояний); риск (Р) — вероятность деградации окружающей среды

8.6. Агроэкологические показатели экологического неблагополучия (Виноградов, 1998)

Показатель	Норма	Риск	Катастрофа	Бедствие
Снижение урожайности посевов, % от нормы	< 15	15...40	40...80	> 80
Засоренность агроценозов, % площади	< 10	10...40	40...80	> 80
Развитие вредителей в посевах, % площади	< 10	10...20	20...50	> 50
Систематическая гибель посевов, % площади	< 5	5...15	15...30	> 30
Проективное покрытие пастбищной растительности, % от нормы	> 80	60...80	20...50	< 10
Урожайность кормовых угодий, % от нормы	> 80	60...70	30...50	< 20
Перегрузка пастбищ, % от несущей способности	< 100	100...150	150...200	> 200
Плотность рекреационной нагрузки, % от нормы	< 10	10...20	20...40	> 40

или перехода ее в неустойчивое состояние в результате текущей или планируемой хозяйственной деятельности; катастрофа (К) — неравновесное, нестационарное преобразование окружающей среды, следствием которого становится потеря устойчивости (равновесия) в результате изменения собственных параметров, быстрого изменения внешних переменных; бедствие (Б) — последствия катастрофы, равновесное состояние экологической системы (окружающей среды) на предельно низком энергетическом уровне («Толковый словарь по охране природы», 1995).

Необходимо управлять процессами

загрязнения окружающей среды. Возможная схема такого управления приведена на рисунке 8.8. Разумеется, первоначальным условием выработки и реализации оптимальных управленческих решений, направленных на формирование экологически приемлемой производственной деятельности, является обеспеченность надежной и достоверной исходной информацией о воздействии и распространении загрязнений, об ответной реакции природных объектов и компонентов и т. п. Таким образом, важнейшее значение приобретает объективность формирования первичных баз данных по техногенезу, что тре-

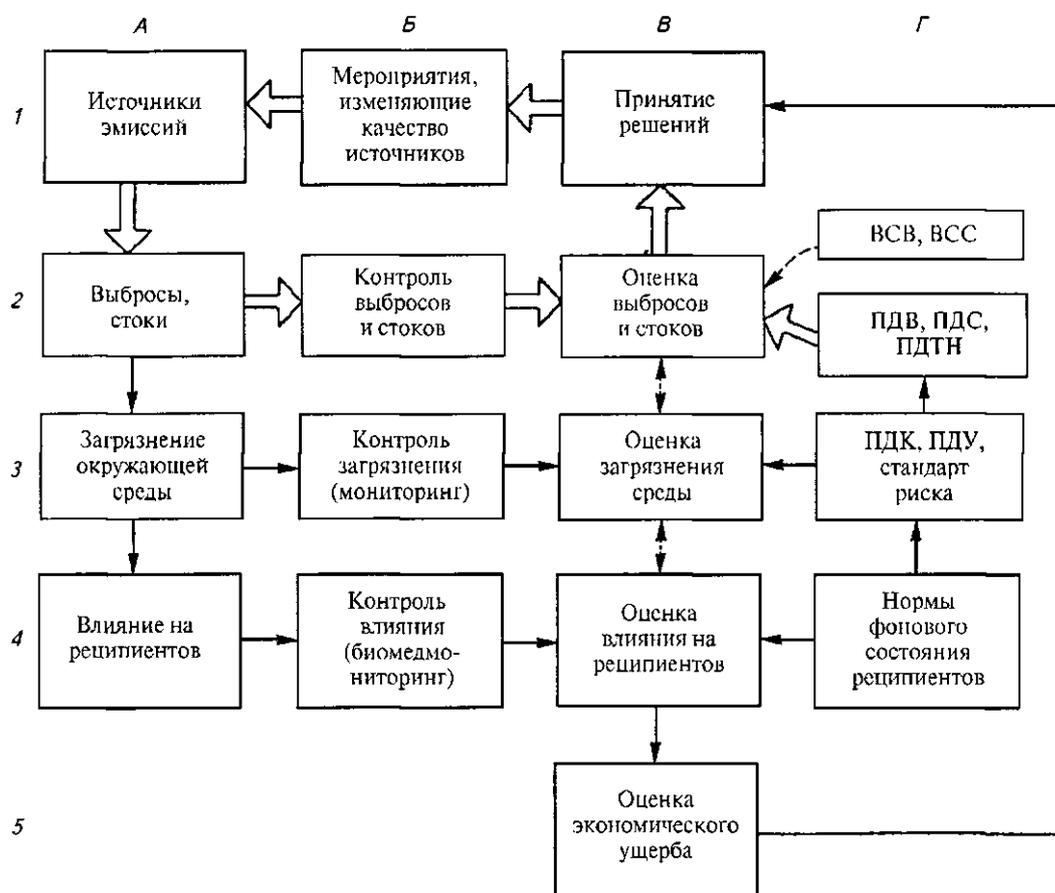


Рис. 8.8. Схема управления загрязнением окружающей среды:

1...5— этапы воздействия и откликов; А — уровень процессов; Б — уровень контроля и коррекции; В — уровень оценок и принятия решений; Г — уровень нормативов; ВСВ и ВСС — соответственно временно-согласованные выброс и сброс; ПДВ, ПДС, ПДТН, ПДК и ПДУ — соответственно предельно допустимые выброс, сброс, техногенная нагрузка, концентрация и уровень. Минимальный контур практического регулирования обозначен толстыми стрелками (Акимова, Хаскин, 1994)

бует наличия серьезной методической основы.

Как известно, общие законы природы едины, а конкретные материальные системы обладают индивидуальными свойствами, которые и составляют их специфику. Для биосферы, ее иерархических уровней и структур, где обеспечивается взаимосовместимость живого вещества и изменяемой живым веществом среды, характерна комплексность процессов и явлений, когда органически сочетаются особенности разных форм движения материи. По замечанию профессора Г. Ф. Хильми, «биосфера в равной степени является геофизической, термодинамической, химической, биологической и кибернетической системой. Ни одна из этих характеристик не может быть отброшена и ни одна из них не обладает преимущественной репрезентативностью... Полное научно обоснованное описание биосферы невозможно на языке одной какой-либо науки или одного научного направления...»*.

Решая те или иные экологические задачи, нельзя упускать из виду следующее обстоятельство. В ходе становления человеческого общества в границах первичной биосферы сформировалась и развивается биотехносфера (область нашей планеты, в которой существуют живое вещество и созданные человеком урбано-технические объекты и где проявляются их взаимодействие и влияние на внешнюю среду). При этом под воздействием антропогенных факторов могут происходить (а отчасти и происходят) изменения основных свойств и элементов биосферы (изменение состава и свойств атмосферы, вод суши и Мирового океана, литосферы, свойств поверхности суши и почвы, состава биоты и др.), что приводит к геофизическим и геохимическим последствиям и эффектам (нарушение круговорота различных элементов, нарушение озонового слоя, эрозия земной поверхности и др.), обуславливает экологические и биологические последствия в связи с нарушением экосистем (изменение земных и водных экосистем и экосистем океана, исчезно-

вание существующих видов и появление новых, падение биопродуктивности, деградация почв и др.), а все это в конечном итоге вызывает социальные последствия различных масштабов, влияет на здоровье и благосостояние человеческой популяции. Для того чтобы исключить или минимизировать негативные воздействия на природные комплексы и их компоненты, следует стремиться к состоянию экологического самообеспечения биотехносферы, согласованному с законами природы и удовлетворяющему потребности человеческого общества. Данное требование может быть достигнуто только в результате целенаправленных *природосообразных* воздействий общества на силы природы. Для выработки стратегии и тактики такого рода воздействий необходимо научное познание биотехносферы и возможных путей ее развития, основанное на синтезе естественно-научных и социальных исследований. В экологических исследованиях нужно использовать системы методов, адекватных решаемым в каждом конкретном случае научным и практическим задачам.

Наиболее универсальной и совершенной в теоретическом и методическом отношении является схема востороннего анализа природной среды, разработанная Ю. А. Израэлем (1984) и приведенная на рисунке 8.9. Согласно схеме анализ должен включать 6 последовательных этапов (блоки I...VI).

Реализация предусматриваемых схемой концептуальных положений дает возможность разрабатывать системы методов исследований, учитывающих особенности изучаемых объектов, явлений, процессов, воздействий, последствий. Примером, в частности, может служить комплексная схема агроэкологических исследований (рис. 8.10). Наполнение этой схемы реальным содержанием относится к числу ключевых задач современной агроэкологии. Следует также отметить, что в изучении техногенеза и его последствий имеют значение как классические методы химического анализа, так и современные методы инструментального анализа. Выбор наиболее подходящего метода анализа зависит от изучаемых соединений (примеси разного происхождения, взвеси, растворенные

* Методологические аспекты исследования биосферы. — М.: Наука, 1975. С. 94.

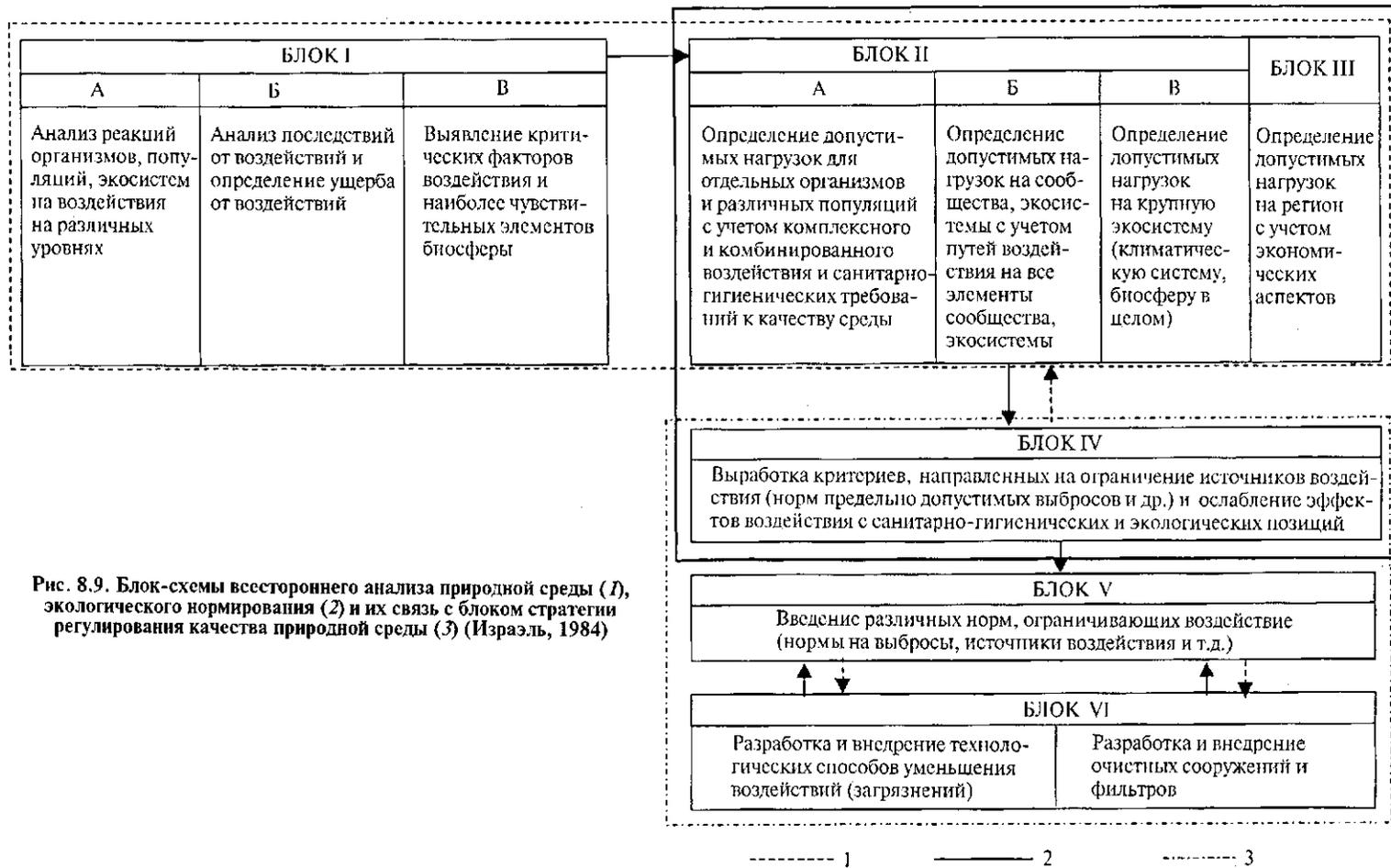


Рис. 8.9. Блок-схемы всестороннего анализа природной среды (1), экологического нормирования (2) и их связь с блоком стратегии регулирования качества природной среды (3) (Израэль, 1984)

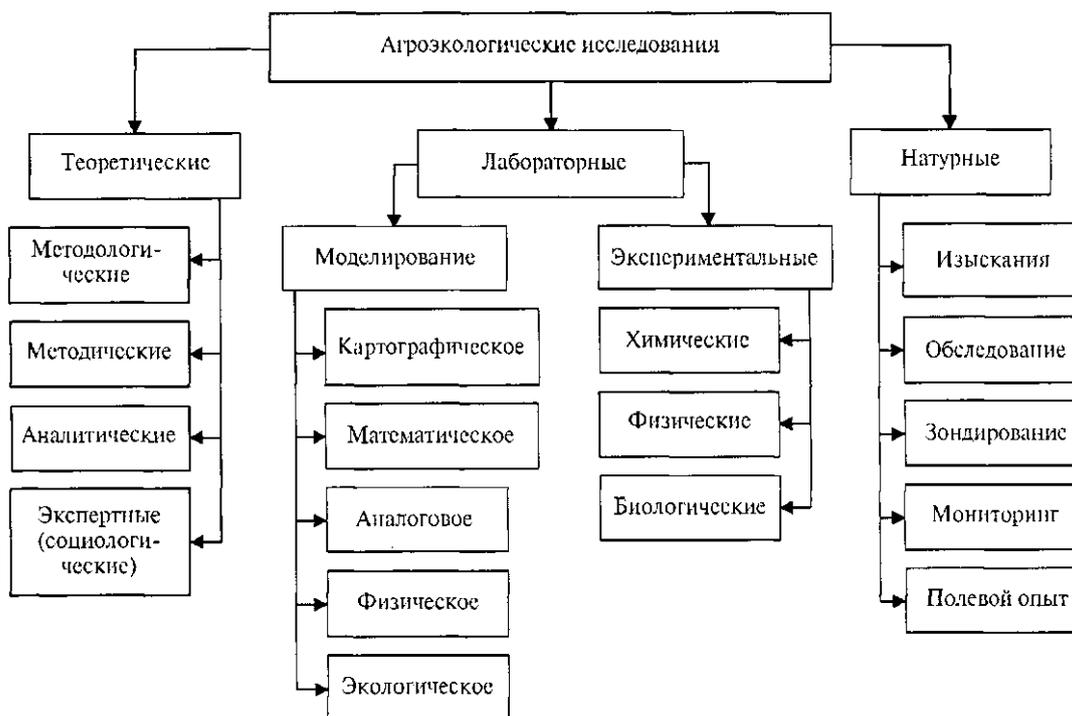


Рис. 8.10. Классификация методов агроэкологических исследований (Кормилицин и др., 1997, с изменениями)

вещества и т. п.); метод анализа должен помочь просто, быстро и точно провести необходимые определения. В таблице 8.7 дана одна из классификаций методов хи-

мического анализа, получивших широкое применение при определении загрязняющих веществ. В приведенной классификации отсутствуют многие ме-

8.7. Методы определения загрязняющих веществ в биосфере (Лозановская и др., 1998, с изменениями)

Метод	Образец*	Требуемое оборудование	Относительная селективность	Определяемые компоненты объектов анализа
Гравиметрический	Т, Ж, Г	Стандартное лабораторное	Хорошая	Основные компоненты
Титриметрический	Т, Ж, Г	То же	»	Основные и полумикрокомпоненты
Спектрофотометрия в видимой части	Т, Г, Ж	Колориметр, спектрофотометр	Удовлетворительная	Полумикро- и микрокомпоненты
Ультрафиолетовая спектрофотометрия	Т, Г, Ж	УФ-спектрофотометр	То же	Полумикро- и микрокомпоненты (хромофоры и органические вещества)
Пламенная эмиссионная спектроскопия	Т, Ж	Пламенный фотометр	Хорошая	Микрокомпоненты (щелочные, щелочно-земельные и другие металлы)
Атомно-абсорбционная спектроскопия	Т, Ж	АА-спектрофотометр	Отличная	Микрокомпоненты (переходные и другие металлы)
Газовая хроматография	Ж, Г	Газовый хроматограф	»	От основных до микрокомпонентов, органические и металлоорганические соединения
Вольтамперометрия	Ж	Импульсный полярограф постоянного тока	Хорошая	Микрокомпоненты, следы металлов (Ag, Bi, Cd, Fe, Pb, Sb, Sn, Zn и др.)

Продолжение

Метод	Образец*	Требуемое оборудование	Относительная селективность	Определяемые компоненты объектов анализа
Спектрофлуориметрия	Т, Ж	Регистрирующий спектрофлуориметр	Хорошая	Микрокомпоненты (органические и неорганические примеси)
Рентгенфлуоресцентная спектрометрия	Т, Ж	РФ-спектрометр	»	Полумикрокомпоненты (элементы в почве)
Жидкостная хроматография	Т, Ж	Жидкостный хроматограф высокого давления	»	Микрокомпоненты, преимущественно органические вещества
Полярография	Ж	Многофункциональный полярограф	»	Полумикро- и микрокомпоненты, многие элементы и органические вещества
Инфракрасная спектроскопия	Т, Ж, Г	Инфракрасный спектрометр	Удовлетворительная	Основные и микрокомпоненты, органические вещества и газы
Микробиологический	Т, Ж	Микробиологическое оборудование	То же	Микрокомпоненты, организмы

*Т — твердый, Ж — жидкий, Г — газообразный.

тоды анализа (ионоселективные электроды, электронная микроскопия, ядерный магнитный резонанс, масс-спектрометрия, тонкослойная хроматография и др.), обеспечивающие хорошие результаты при изучении загрязняющих веществ. Однако такого рода оборудование малодоступно для массовых лабораторий. Выбор методов исследований воздуха, природных и сточных вод, почв зависит от стоимости и доступности обо-

рудования. В большинстве агрохимических, заводских и природоохраных лабораторий наиболее совершенное оборудование, как правило, отсутствует.

Понимание сущности техногенеза должно служить важной предпосылкой формирования конструктивного подхода к ограничению воздействия загрязнений на агроэкологические системы, обеспечению их стабильного функционирования.

Глава 9

ПОЧВЕННО-БИОТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА АГРОЭКОСИСТЕМЫ

9.1. ПОЧВЕННО-БИОТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС — ЦЕЛОСТНАЯ МАТЕРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОДСИСТЕМА БИО(АГРО)ЦЕНОЗОВ

Почвенная биота. Почва — сложнейшая система, одним из основных функциональных компонентов которой являются населяющие ее живые организмы. От деятельности этих организмов зависят характер и интенсивность биологического круговорота веществ, масштабность и интенсивность фиксации основного биогенного элемента — атмосферного азота, способность почвы к самоочищению и пр.

Огромная роль живых организмов в создании плодородия почв признавалась классиками отечественного почвоведения. Первые суждения о значении биологического фактора в почвообразовании были высказаны М. В. Ломоносовым, который в известной работе «О слоях земных» (1763) писал, что чернозем — не первообразная и не первозданная материя, он произошел от согнития животных и растущих тел со временем.

В. В. Докучаев — основатель учения о почве как особом природном теле. Он впервые обратил внимание на значение микроорганизмов в процессе почвообразования. Это стало возмож-

ным благодаря работам Луи Пастера, заложившего фундамент учения о микроорганизмах.

П. А. Костычев в монографии «Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства» (1886) писал, что геология имеет второстепенное значение в вопросах о черноземе. Формирование этих почв связано с географией высших растений и физиологией низших, ответственных за разложение органического вещества. Значение почвенных организмов в жизни растений признавал и Д. И. Менделеев. В его письме к В. В. Докучаеву (1895) говорилось: «С огромным интересом прочел я Ваш ряд статей о почвоведении и бактериологии. Это не только вклад, за который Вам скажут спасибо в настоящем и будущем..., но и честь понимания научных основ... И так, земля — труп в сказаниях, а у нас она кормилица — живая. Научить этому, думаю, очень полезно и начинать в университетах пора»*.

Многие ученые обращали внимание на преобладающую роль биохимических процессов в почве, связывали урожайность сельскохозяйственных культур с активным функционированием микроскопических почвенных существ.

Профессор Петровской сельскохозяйственной академии (ныне Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева) Г. Г. Густавсон в докладе «О микробиологических основах агрономии» показал, что почва представляет собой живую систему, огромную роль в которой играют низшие существа.

Значительная роль в признании почвы как живой составляющей экосистемы принадлежит также Н. А. Димо, В. Л. Омелянскому, Б. Б. Полюнову, С. А. Северину, Н. Н. Худякову.

Особое значение имеют взгляды на почвенную биоту В. Р. Вильямса, который связывал ее с формированием малого биологического круговорота веществ на Земле, с обогащением почвы азотом в результате фиксации атмосферного азота.

Среди современных ученых, внесших большой вклад в развитие учения

о почвенных организмах и их роли в создании почвенного плодородия, оздоровлении земли, необходимо отметить академиков М. С. Гилярова, Д. Г. Звягинцева, Е. Н. Мишустина, профессора В. Т. Емцева и др.

В последнее время значение почвенной биоты существенно возросло, и не только в связи с незаменимой ролью ее в формировании почвенного плодородия. При техногенном загрязнении компонентов биосферы, в том числе и почв, почвенная биота выполняет еще одну важную функцию — детоксикации различных соединений, присутствующих в почве и влияющих на состояние окружающей среды и качество сельскохозяйственной продукции.

Почвенный покров представляет собой самостоятельную земную оболочку — педосферу. Почва — продукт совместного воздействия климата, растительности, животных и микроорганизмов на поверхностные слои горных пород. В этой сложнейшей системе непрерывно происходят синтез и разрушение органического вещества, круговорот элементов зольного и азотного питания растений, детоксикация различных загрязняющих веществ, поступающих в почву, и т. д.

Эти процессы осуществляются благодаря уникальному строению почвы, которое представляет собой систему взаимосвязанных твердой, жидкой, газообразной и живой составляющих. Например, воздушный режим почвы тесно связан с ее влажностью. Оптимальное сочетание этих факторов способствует лучшему развитию высших растений. Последние, продуцируя большую биомассу, поставляют больше пищевого и энергетического материала для населяющих почву живых организмов, что улучшает их жизнедеятельность и способствует обогащению почвы питательными веществами и биологически активными соединениями. Твердая фаза почвы, в которой в основном сосредоточены источники питательных и энергетических веществ — гумус, органо-минеральные коллоиды, катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} на поверхности почвенных частиц, взаимосвязана с почвенно-биотическим комплексом (ПБК).

Почвенные частицы, особенно кол-

* Докучаев В. В. Избранные сочинения. Т. III. — М: Сельхозгиз, 1949. С. 330-331.

лоидная и илистая фракции, благодаря большой суммарной поверхности обладают поглотительной способностью. Эта способность имеет большое экологическое значение, так как позволяет почве сорбировать различные соединения, в том числе токсичные, и тем самым препятствовать поступлению токсикантов в пищевые цепи.

Состав ПБК. В процессе превращения веществ и формирования потоков энергии огромную роль играют населяющие почву живые организмы, составляющие ПБК, без которого нет и не может быть почвы. Как писал В. Р. Вильяме (1947), замрет, прекратится эта жизнь — и бывшая почва станет объектом геологии.

ПБК представлен весомой (по массе) и разнообразной группой организмов (рис. 9.1).

В 1г почвы содержится 3...90 млн бактерий, 0,1...35 млн актиномицетов, 8... 1000 тыс. микроскопических грибов, 100 тыс. водорослей, 1,5...6 млн простейших.

Принято считать, что верхний слой

почвы в целом состоит из минеральной субстанции (93 %) и органического вещества (7 %). В свою очередь, органическое вещество включает мертвое органическое вещество (85 %), корни растений (1 %) и эдафон (5 %). В структуру эдафона входят бактерии и актиномицеты (40 %), грибы и водоросли (40 %), дождевые черви (12%), прочая микрофауна (5 %) и мезофауна (3 %).

Масса бактерий составляет примерно Ют/га; такую же массу имеют микроскопические грибы; масса простейших достигает порядка 370 кг/га и т. д.

На 1 га пашни приходится 250 тыс. дождевых червей (50...140 кг/га), на 1 га пастбища - 500... 1575 тыс. (1150... 1680 кг/га), на 1 га сенокосных угодий — 2...5,6 млн (более 2 т/га).

Среди животных организмов биосферы обитатели почвы характеризуются наибольшей биомассой. Исходя из предположения, что в среднем биомасса почвенной фауны составляет 300 кг/га, на площади 80 млн км² почвенного покрова Земли (без пустынь) суммарная биомасса почвенных животных всего

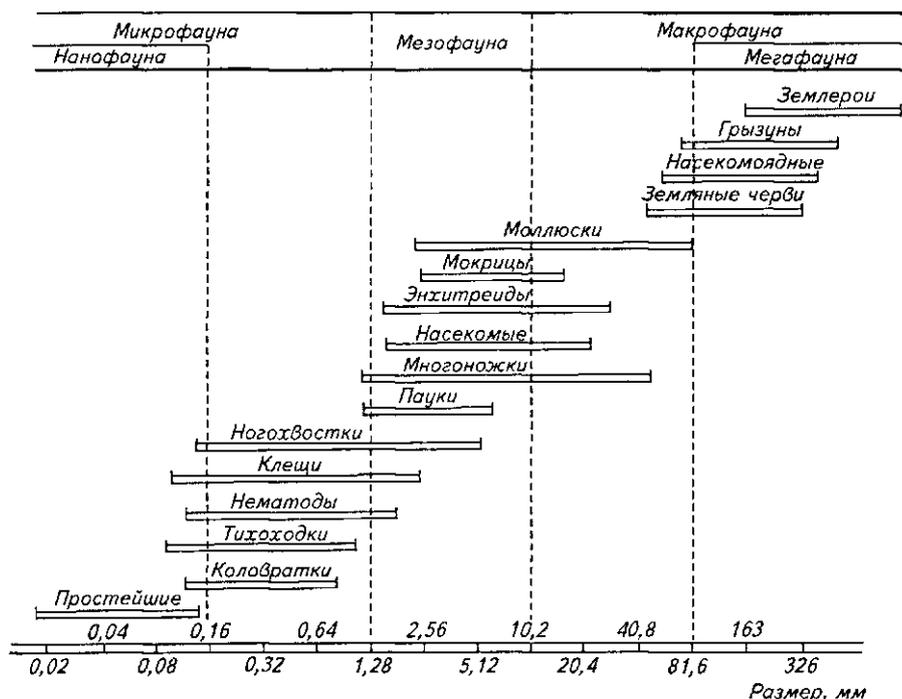


Рис. 9.1. Размерные группы почвенных животных (Бабьева, Зенова, 1989)

земного шара составляет 2,5 млрд т (Дювиньо, Танг, 1973). Деятельность почвенной фауны, или педофауны, состоит в разложении опада на комплексные органические производные (первоначальная функция дождевых червей); эти соединения затем переходят к бактериям, актиномицетам, почвенным грибам, высвобождающим из органических остатков исходные минеральные компоненты, которые опять ассимилируются продуцентами.

Все эти организмы находятся в постоянном взаимодействии; они очень динамичны в пространстве и во времени; некоторые из них обладают необычайно мощным ферментативным аппаратом и способностью выделять в окружающую среду различные токсины.

От деятельности почвенной биоты зависит плодородие почвы, ее «здоровье», качество сельскохозяйственной продукции, состояние окружающей среды. Знание особенностей функционирования ПБК в различных экологических условиях принципиально важно для создания продуктивных и устойчивых агроэкосистем, производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции и минимизации загрязнения биосферы.

Структурно-функциональная организация ПБК в различных экологических условиях. Почва — часть биосферы, где действуют различные экологические факторы; поэтому в природе существует множество почвенных типов и их разновидностей с различным проявлением биологических процессов. Например, южные почвы, сформированные в условиях оптимального сочетания экологических факторов (достаточные количества тепла, влаги, питания), отличаются более высокой биологической активностью. Северные почвы в условиях лимитирующего температурного фактора, промывного типа водного режима, особенностей почвообразующих пород и пр. характеризуются низкой биологической активностью и своеобразным ПБК. Другими словами, разные экосистемы функционируют при участии различных почвенных организмов, что обуславливает уровень почвенного плодородия и устойчивость экосистемы к неблагоприятным факторам среды.

Так, черноземные почвы характеризуются высокой урожайностью и высокой устойчивостью по отношению к токсикантам. Почвы северного ряда — подзолистые и дерново-подзолистые — обладают менее выраженным плодородием, а также низкой устойчивостью к антропогенному загрязнению.

В зависимости от типа почвы и ее культурного состояния эти различия проявляются в значительных колебаниях численности и структуры почвенной биоты вообще и микроорганизмов в частности. Наибольшее количество почвенных микроорганизмов содержится в черноземах и отдельных подтипах каштановых почв (рис. 9.2). Высокой численностью микроорганизмов характеризуются также сероземные почвы (при орошении). К северу и югу региона распространения этих почв численность микробного населения сокращается. Микробиота активно функционирует в основном в верхнем гумусовом слое, где сосредоточен наибольший запас питательных элементов (рис. 9.3), т. е. плодородие почв и почвенная биота взаимосвязаны.

Структурные изменения в функционировании экосистем в различных почвенно-экологических условиях определяются участием различных групп почвенного бионаселения в биохимических процессах. Например, в северных экосистемах в биологическом круговороте активное участие принимает грибное население; к югу в структуре микробного ценоза преобладают бактерии и актиномицеты (рис. 9.4).

Выявлены и видовые особенности микроорганизмов в функционировании различных экосистем (табл. 9.1). В экосистемах со слабым течением минерализационных процессов (дерново-подзолистые и особенно подзолистые почвы) доминантами выступают виды, участвующие в распаде органического вещества на ранних этапах (*Bac. cereus*, *Bac. virgulus*, *Bac. agglomeratus*). Более глубокая трансформация органического вещества протекает при участии *Bac. idosus*, *Bac. mesentericus*, *Bac. subtilis*. В экосистемах с хорошим азотным режимом почвы присутствуют зародыши *Bac. megatherium*. Индикатором засоленных почв является *Bac. gasificans*. В условиях

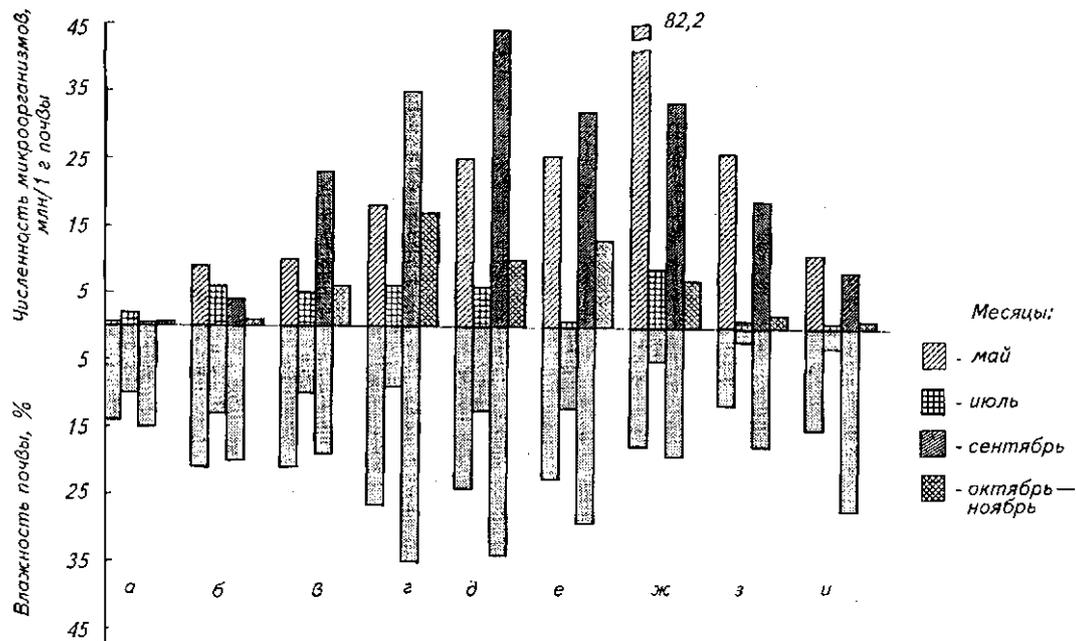


Рис. 9.2. Динамика численности аммонифицирующих микроорганизмов в почвах разных типов (горизонт *A_{am}* или *A_t*) в зависимости от влажности. Почвы:

a — подзолистая; *б* — дерново-подзолистая; *в* — серая лесная; *г* — чернозем оподзоленный; *д* — чернозем выщелоченный; *е* — чернозем типичный; *ж* — каштановая; *з* — солонец; *и* — солончак

чрезвычайной засушливости экосистем (регионы сухостепной зоны) в структуре бациллярного населения доминантой выступает *Bac. mesentericus niger*.

Таким образом, по структуре микробного ценоза, и особенно по видовому составу микроорганизмов, можно судить о течении почвообразовательного процесса и состоянии экосистем.

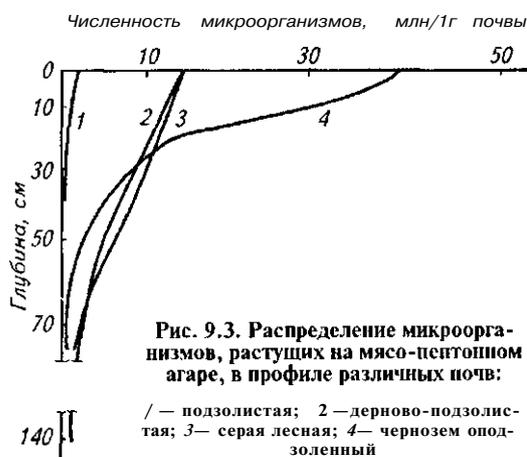


Рис. 9.3. Распределение микроорганизмов, растущих на мясо-пептонном агаре, в профиле различных почв:

1 — подзолистая; 2 — дерново-подзолистая; 3 — серая лесная; 4 — чернозем оподзоленный

Типы связей в почвенном биотическом сообществе. Населяющие почву живые организмы взаимодействуют между собой и с абиотической средой. Эти взаимодействия основываются либо на трофическом, либо на метаболическом характере связей, рассмотренных в главе 3. Характер этих взаимодействий и взаимоотношений определяет уровень почвенного плодородия и состояние «здоровья» земли. Пример трофической связи — связь в системе хищник—жертва. В почвенной среде эта связь выражается между животными и микроорганизмами, которыми они питаются.

Существующие в природных экосистемах взаимодействия объясняют многие процессы, происходящие в почве. Например, трансформация растительных остатков протекает в результате синтрофных и метаболических взаимоотношений, когда одна группа популяции потребляет продукты, которые образуют их предшественники. Яркий пример — нитрифицирующие бакте-

9.1. Видовой состав бактерий в почвах разных типов, % (горизонт А, или А_h)

Бактерии	Подзо- листая (лес)	Дерново- подзо- листая (сад)	Серая лесная (пашня)	Чернозем (пашня)			Кашта- новая (целина)	Солонец (целина)	Солон- чак (целина)
				оподзо- ленный	выщело- ченный	типич- ный			
Agglomeratus	16,0	9,3	2,2	0,8	—	0,6	0,3	3,2	2,1
Mycoides	28,6	5,3	7,3	0,3	0,2	—	—	—	—
Idosus	7,4	29,4	25,0	25,6	22,0	24,7	19,2	16,8	18,6
Megatherium	3,1	32,5	41,0	41,0	48,5	41,0	33,3	13,6	10,0
Mesentericus ruber	1,1	4,5	5,3	6,8	7,8	10,8	—	—	—
Mesentericus trevisan	—	1,5	3,5	10,6	7,5	10,2	22,3	22,4	10,9
Mesentericus niger	—	—	—	—	—	—	8,0	12,3	25,2
Mesentericus panis	—	1,2	0,4	0,3	0,9	0,9	—	1,4	—
Subtilis	—	0,2	1,7	2,0	0,8	0,6	2,1	1,5	1,1
Solaniperda	—	—	0,2	0,5	0,1	0,1	4,2	14,2	10,0
Cereus	19,8	6,8	4,6	6,5	2,7	2,4	1,2	3,3	0,5
Virgulus	9,1	1,2	4,0	1,6	1,2	1,1	—	—	—
Asterosporus	10,9	3,1	0,1	1,3	1,0	0,8	5,4	1,0	3,5
Cyanogenes	0,6	—	0,1	—	—	—	—	—	—
Adhaerens	1,0	0,2	—	—	—	—	—	2,5	2,3
Brevis	2,4	1,6	1,4	1,9	5,1	3,4	3,4	1,7	4,3
Tumescens	—	0,2	1,4	0,7	0,8	3,3	—	0,4	2,9
Polymyxa	—	2,6	1,8	—	—	0,1	0,1	—	3,6
Gasificans	—	0,4	—	—	—	—	—	5,7	5,0
Migrans	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
Antracoides	—	—	—	—	0,4	—	0,4	—	—

рии. Нитробактерии потребляют нитраты, продуцируемые нитрозными бактериями.

Синтрофный тип отношений лежит в основе очень важного с точки зрения «здоровья» земли процесса самоочище-

ния почвы — в основе удаления токсичных продуктов обмена (когда субстрат потребляется смешанными популяциями). В агроэкосистемах с преобладанием бесменного выращивания одной культуры, например хлопчатника (мо-

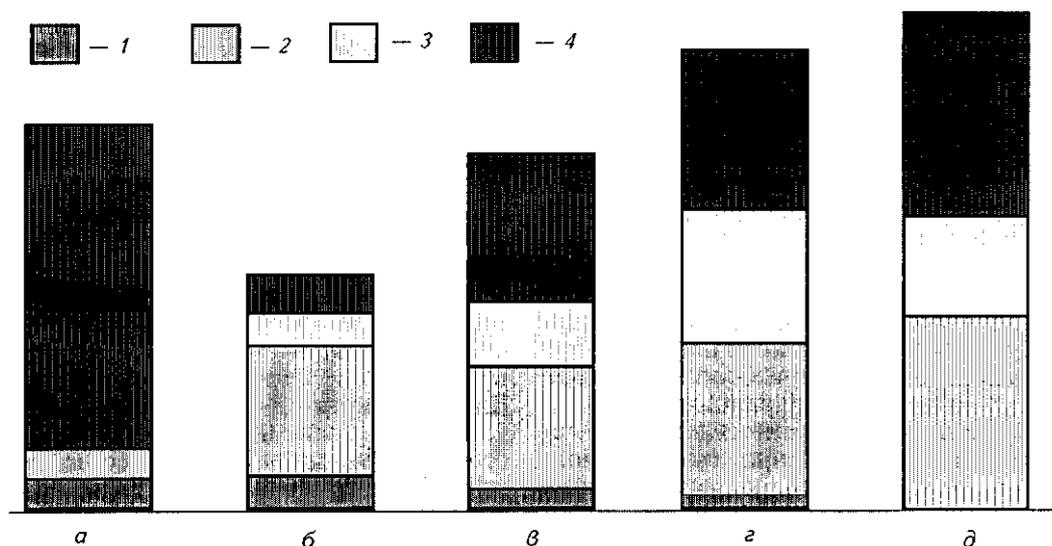


Рис. 9.4. Соотношение основных групп микроорганизмов в почвах разных зон:

а — тайга и тундра; б — луговая лесная зона; в — луговая степь; г — сухая степь; д — пустынная степь; 1 — грибы; 2 — бактерии; 3 — актиномицеты; 4 — неспороносные (Мишустин, 1972)

нодоминантные агроэкосистемы), сокращается микробное разнообразие и выпадает звено, потребляющее продукты обмена (либо изменяются его функции), что приводит к нарушению процесса самоочищения почвы, известному под названием «почвоутомление».

Метаболические (аллелохимические) связи проявляются в том, что населяющие почву живые организмы выделяют в окружающую среду различные продукты, выполняющие функции сигнальных метаболитов и влияющие на рост и развитие растений. Например, микроорганизмы выделяют во внешнюю среду физиологически активные вещества разной химической природы, которые действуют на другие организмы уже в малых концентрациях и выполняют функцию сигнала для работы системы. Продукты метаболизма микроорганизмов (витамины, аминокислоты, ауксины, антибиотики, ферменты и др.) поступают в растения, играя важную роль в их росте и развитии. Наиболее активные продуценты витаминов — микроорганизмы родов *Bacillus* и *Pseudomonas*. Некоторые микроорганизмы способны продуцировать гиббереллиновые и гиббереллиноподобные вещества, которые ускоряют фотохимическую и темновую фиксацию азота, вызывают пробуждение семян и ускоряют их прорастание, стимулируют цветение длиннодневных растений при неблагоприятном фоторежиме.

Установлено защитное действие микроорганизмов почвы, проявляющееся в подавлении фитопатогенных форм бактерий и грибов.

В сельскохозяйственном производстве широко используются продукты, образуемые в результате метаболических (аллелохимических) связей, существующих в биоценозах. Например, насекомые выделяют вещества, которые могут отпугивать (репелленты) или привлекать (аттрактанты) других насекомых или особей противоположного пола. Эти вещества используют при биологической защите растений.

Большое значение имеет симбиотический (мутуалистический) тип ассоциации. Пример — клубеньковые бактерии на корнях бобовых растений, связи в лишайнике между грибами и

водорослями, микориза (или грибо-корень), играющая большую роль в обеспечении древесных растений элементами питания, особенно фосфором и калием. Сеянцы сосны, например, очень плохо растут, если на их корнях нет микоризы, а многие микоризные грибы не встречаются вне корней. Связь обычно осуществляется через питание: микроорганизмы снабжают хозяина витаминами, стиrolами, а от него получают кров и пищу. Отсутствие спор грибов в почве иногда бывает причиной неудач при закладке питомников и посадке культур, особенно на площадях, не бывших под лесом, например в степи.

Отмечая множество биологических взаимодействий, следует подчеркнуть, что они не постоянны, а могут меняться в процессе развития ценоза и в зависимости от условий окружающей среды, что необходимо учитывать при конструировании агроэкосистем и проведении хозяйственных мероприятий.

9.2. БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МИКРОБНОГО КОМПЛЕКСА

Характеристика микробного комплекса. Микроорганизмы — наиболее изученная группа почвенного бионаселения, что связано с выдающимися работами академика Е. Н. Мишустина и его учеников.

Микроскопическое население почвы чрезвычайно велико и разнообразно. Основные группы почвенного микронаселения: бактерии, грибы, актиномицеты, многочисленные водоросли. Эти организмы характеризуются исключительно малыми размерами (масса бактериальной клетки составляет $2,92 \cdot 10^{-12}$ г, размер $0,5 \dots 1,0$ мкм в поперечнике). Для них характерны короткая продолжительность жизни (от нескольких часов до нескольких дней), необычайно высокая ферментативная активность, высокая чувствительность к малейшим изменениям окружающей среды и способность к продуцированию токсинов (микотоксинов), например у грибов при определенных условиях.

По отношению к кислороду выделя-

ют аэробные (потребляющие кислород) и анаэробные (живущие в отсутствие кислорода) организмы, по способу питания — автотрофные (сами создают органическое вещество) и гетеротрофные (питаются готовым органическим веществом). Численность микроорганизмов сильно колеблется в зависимости от почвенно-экологических факторов.

Роль микроорганизмов в круговороте веществ. Микроорганизмы играют основную роль в круговороте веществ в биогеоценозах, минерализуя органические остатки и замыкая таким образом биологические циклы экосистем.

Ежегодно на суше синтезируется огромное количество фитомассы — (115...117)10⁹ т, из которой на долю опада приходится (20...50)10⁹ т. Часть фитомассы (6...20 %) поедают животные и возвращают в почву с экскрементами (10...60%). Дополняют биомассу прижизненные выделения корней и сама корневая система, составляющая 20...90 % фитомассы растений.

Эти значительные объемы органического вещества минерализуются в результате деятельности почвенных организмов, превращаясь из недоступных органических соединений в усвояемые растениями минеральные формы. Основными деструкторами при этом выступают микроорганизмы. На долю микроорганизмов приходится 85 % выделяющегося при разложении диоксида углерода, на долю почвенных животных — 15%. При этом в аэробных условиях грибы дают две трети, а бактерии — треть СО₂. Далее из минеральных соединений вновь синтезируется органическое вещество. Так в общем виде протекает малый (биологический) круговорот.

Характер и интенсивность биологического круговорота зависят от трех главных факторов: состава растительности, гидротермического режима и комплекса организмов-трансформаторов.

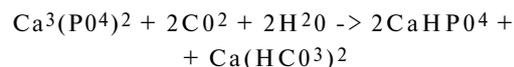
Трансформация органических веществ и обмен газообразных продуктов микробного метаболизма сопровождаются взаимодействием почвенных микроорганизмов с первичными и вторичными минералами почвы.

По своему значению для биосферы

этот процесс сопоставим с фотосинтезом и фиксацией молекулярного азота, так как минеральные элементы, первоисточники которых находятся в литосфере, необходимы для жизни всех организмов на Земле. Без них невозможно создание органического вещества, носителя потенциальной энергии, преобразованной зелеными растениями из кинетической энергии солнечного луча. Практически нет ни одного элемента, который не подвергался бы воздействию микроорганизмов или их метаболитов.

Минеральная часть почвы разрушается под воздействием различных неорганических и органических кислот, щелочей, ферментов и других соединений — продуктов жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Так, нитрифицирующие микроорганизмы выделяют сильную азотную кислоту в процессе нитрификации. При благоприятных условиях в процессе нитрификации за год в почве может образоваться до 300 кг нитратов на 1 га.

Выделяющийся в процессе дыхания микроорганизмов диоксид углерода способствует растворению минералов. Так, нерастворимые фосфаты растворяются угольной кислотой, которая образуется от взаимодействия СО₂ и воды при участии микроорганизмов:



От того, насколько интенсивно происходят эти процессы, зависит степень обеспеченности растений необходимыми элементами питания и энергией.

Параллельно с разложением органических остатков в почве идут процессы гумификации. В этих процессах велика роль почвенной биоты, в частности микроорганизмов. Все разновидности мертвого органического вещества, подвергаясь в почве биологическому разложению и окислению — гумификации, преобразуются обычно в единую, довольно стабильную химическую субстанцию почвенного субстрата — гумусовые вещества.

При гумификации растительных и животных остатков наблюдается последовательность в смене деструкторов, ви-

довой состав и интенсивность развития которых в известной степени зависят от органических соединений, входящих в состав растительных и животных остатков. При этом происходит не только разложение органических остатков, но и синтез новых органических соединений. Продукты распада используются, в частности, в процессе синтеза специфических органических веществ почвы — фульвокислот и гуминовых кислот. Принято считать, что фульвокислоты образуются в сильнокислой среде, где почвенная фауна представлена слабо. Гуминовые кислоты характерны для почв со слабощелочной реакцией, в которых преобладают деструкторы (особенно беспозвоночные животные и дождевые черви). Разложение органических компонентов с образованием гумуса, круговорот веществ — все это результат биохимических ферментативных процессов, осуществляемых обитателями почвы. Столь грандиозную по масштабам работу выполняют организмы, биомасса которых исчисляется лишь несколькими тоннами на 1 га. Следует учитывать большую скорость круговорота веществ, в результате чего общая суммарная биомасса деструкторов возрастает во много раз и иногда превышает годовичную продукцию высших растений (табл. 9.2). Исходя из предпосылки, что полное возоб-

новление биомассы микроорганизмов происходит раз в декаду в течение биологически активного периода года, приняты следующие зональные коэффициенты репродукции их биомассы: тундра — 9 (3 мес), тайга — 21 (7 мес), широколиственные леса и степи — 24 (8 мес), пустыни — 27 (9 мес) и тропики — 36 (12 мес).

Анализ данных о содержании органических веществ свидетельствует о том, что запасы гумуса в почвах различных растительных зон (за исключением лесных) больше, чем суммарная фитомасса соответствующих растительных сообществ. Например, в тундре надземная фитомасса составляет 3...10 т/га, подстилка, корни, гумус — 270...380, на черноземах — соответственно 10...20 и 500...1000 т/га.

Гумус накапливается в результате длительного и разнообразного взаимодействия и взаимовлияния населяющих почву организмов и высших растений. Почвенное плодородие, основу которого составляют гумусовые вещества, зависит от структуры и активности почвенной микробиоты.

Почвенные микроорганизмы обладают уникальной способностью фиксировать газообразный, атмосферный азот и переводить его в усвояемые для растений соединения. Азот, фиксируемый почвенными микроорганизмами, назы-

9.2. Годовая продукция обитателей некоторых экосистем и ее энергетический эквивалент (Ковда, Якушевская, 1971)

Зона	Высшие растения		Микроорганизмы		Водоросли		Всего	
	т/га в год	млн кДж/га	т/га в год	млн кДж/га	т/га в год	млн кДж/га	т/га в год	млн кДж/га
Тундра	2,5	52,3	1,8	45,2	0,05	1,05	4,35	98,6
Южная тайга:								
лес	6	125,6	8,4	211,0	0,5	10,5	14,9	347,1
пашня	8	167,5	18,9	474,8	1,0	20,9	27,9	663,2
пойма, луга	12	251,2	25,2	633,0	3,0	62,8	40,2	947,0
Зона широколиственных лесов:								
лес	11	230,3	21,6	542,6	1,0	20,9	33,6	793,8
пашня	10	209,3	24,0	602,9	1,0	20,9	35,0	833,1
Черноземная степь:								
целина	11	230,3	21,6	542,6	1,0	20,9	33,6	793,8
пашня	15	314,0	31,2	783,7	1,0	20,9	47,2	1118,6
Пустыня:								
целина	1,2	25,1	13,5	339,1	0,5	10,5	15,2	374,6
пашня	15	314,0	32,4	813,9	1,5	31,4	48,9	1159,3
Тропический влажный лес	34	711,8	144,0	3617,4	—	—	178	4329,2

ваются биологическим, а микроорганизмы, связывающие молекулярный азот, — азотфиксаторами, или diaзотрофами.

Суммарная годовая продукция азотфиксации в наземных экосистемах составляет около 175...190 млн т, из которых 90...100 млн т приходится на почвы агроэкосистем. При этом доля биологического азота в урожае достигает 60...90 %. По данным Е. Н. Мишустина, небιологические процессы связывания азота, идущие в атмосфере (газовые ряды) или в сферах деятельности человека (например, работа двигателей внутреннего сгорания), дают всего 0,5 % фиксированного азота; 5 % азота в форме аммиака приходится на химические заводы по производству азотных удобрений.

В пересчете на азот общее количество биологического азота, фиксированного почвенными микроорганизмами (7,5 млн т в 1985 г. в расчете на посевные площади 220 млн га), примерно равно количеству азота, поставляемому химической промышленностью сельскому хозяйству (в 1976 г. поставки азотных минеральных удобрений в СССР в пересчете на азот составили 7,25 млн т). При этом коэффициент использования химического азота редко превышает 40 %.

Азотфиксирующие микроорганизмы делят на несимбиотические и симбиотические. Несимбиотические азотфиксаторы, в свою очередь, разделяют на свободноживущие (не связанные непосредственно с корневыми системами растений) и ассоциативные, которые обитают в прилегающей к корням почве (ризосфере) или на поверхности корней и листьев (в фитоплане).

Суммарное годовое количество азота, продуцируемое свободноживущими азотфиксирующими микроорганизмами за год, колеблется для разных почв от десятков до сотен килограммов на 1 га:

Дерново-подзолистые	38...192	Каштановые	135...330
Серые лесные	48...216	Сероземы	215...516
Черноземы и черноземно-луговые	90...312	Солончаки и солонцы	69...540

венного азота в среднем составляет 15 кг/га, что в пересчете на посевные площади (220 млн га в 1985 г.) дает 3,5...4,0 млн т азота.

Ассоциативная азотфиксация осуществляется микроорганизмами, живущими в ассоциации с растениями, и в этом случае в большей степени зависит от количества и качества поступающего в ризосферу легкодоступного органического вещества и энергии. Этот процесс тесно связан с процессом фотосинтеза (рис. 9.5). Симбиотические азотфиксаторы (клубеньковые бактерии) живут в тканях растений, стимулируя образование особых разрастаний на корнях или листьях в форме клубеньков или узелков, в которых осуществляется фиксация азота атмосферы. Эти разрастания называются бактериоидами и фактически являются азотфиксирующими органоеллами клеток бобового растения—хозяина.

По расчетам Е. Н. Мишустина, симбиотическая азотфиксация, протекающая при участии клубеньковых бактерий, дает 60...300 кг азота на 1 га, или около 3 млн т (в пересчете на посевные площади 1985 г.).

При фиксации атмосферного азота исключается загрязнение почв, водоемов и атмосферы, которое имеет место при внесении химического азота.

Процесс восполнения запасов азота в почве за счет биологической фиксации важен и с энергетической (экономической) точки зрения, так как на производство химических азотных удобрений приходится примерно треть всех

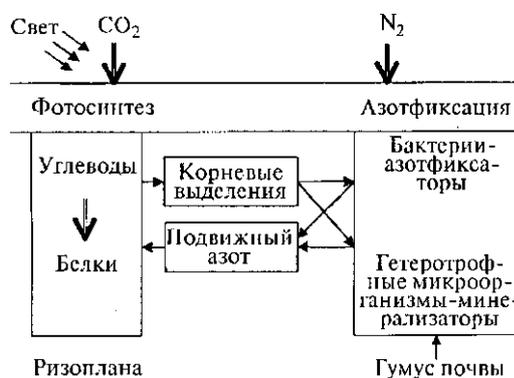


Рис. 9.5. Схема мобилизации азота в системе почва — микроорганизмы — растения и взаимосвязь фотосинтеза и азотфиксации (Умаров, 1986)

средств, вкладываемых в сельскохозяйственное производство.

Способность почвенных микроорганизмов усваивать атмосферный азот используют при разработке биопрепаратов на основе активных штаммов микроорганизмов. Если первые разработанные биопрепараты, например нитрагин, изготавливали на основе симбиотических микроорганизмов (клубеньковых бактерий), то теперь успешно применяют препараты на основе несимбиотических микроорганизмов (*Klebsiella*, *Rhizobium* и др.).

Уникальные функции микроорганизмов по фиксации атмосферного азота приобретают особое значение в связи с усилением антропогенного воздействия на агроэкосистемы и возможностью использования биологических механизмов питания растений. Это позволяет в будущем перейти от современного «химического» земледелия к конструированию агробиоценозов на биологической основе.

Микробная биомасса содержит различные вещества, необходимые высшим растениям. Особенно богата она азотом. Содержание его в клетках микроорганизмов достигает 12 %; на долю Р₂₀⁵ приходится 3 %, К₂₀ — 2,2 %.

Разнообразен и биохимический состав микробной биомассы. В состав ее сухого вещества входят: 53 % белка, 16 — сахара, 18 — нуклеиновых кислот, 10 — жиров, 3 % ферментов, витаминов, ростовых веществ, антибиотиков и других соединений, необходимых растениям.

Микроорганизмы в течение года могут синтезировать на 1 га пахотного слоя почвы до 400 г тиамина, 300 г пиридоксина и 1 кг никотиновой кислоты (табл. 9.3), причем при обогащении почвы *Azotobacter* количество витаминов в почве возрастает в 5 раз.

9.3. Численность бактерии (%), способных синтезировать биологически активные вещества (Локхед, 1972)

Биологически активные вещества	Выделенные бактерии		
	почва	ризосфера	ризоплана
Тиамин	28,0	51,6	68,0
Биотин	14,0	33,3	43,0
Никотиновая кислота	32,7	71,7	74,0
Фолиевая кислота	26,2	68,5	61,0
Рибофлавин	27,0	72,7	76,0
Пиридоксин	18,7	56,6	58,0
Витамин В ₁₂	14,0	20,2	27,0

В результате значительной численности микроорганизмов, высокой скорости их генерации и короткой продолжительности жизни в биологический круговорот вовлекается большое количество микробной биомассы, что обуславливает почвенное плодородие и снабжение растений необходимыми элементами и другими жизненно важными веществами, причем эти вещества поступают в сбалансированном виде и в необходимые для растения сроки.

В таблице 9.4 приведено количество микробной биомассы, вовлекаемое в биологический круговорот на дерново-подзолистых почвах в лесных экосистемах.

9.4. Микробная продуктивность почв под древесными насаждениями Лесной опытной дачи МСХА в верхнем 10-сантиметровом слое

Главная порода	Микробная биомасса, т/га			
	1977 г.	1978 г.	1979 г.	среднее значение
Дуб	21,1	20,1	14,8	18,7
Береза	22,4	27,2	29,5	26,4
Сосна с липой	17,1	19,0	15,5	17,2
Лиственница:				
спелая	21,7	20,2	24,5	22,1
молодая	20,3	23,0	34,2	25,8

В пересчете как на азот (рис. 9.6), так и на другие элементы получаются существенные цифры, что имеет большое значение для обеспечения растений жизненно необходимыми веществами, а в конечном итоге и для нормального функционирования экосистем. И хотя в агроэкосистемах эти цифры, вероятно, несколько ниже, вклад биологического азота в обеспечение растений данным элементом достаточно существен.

Экотоксикологические функции микроорганизмов. Микроорганизмы — индикаторы физиологического состояния растений в системе почва—растение. Способность почвенных микроорганизмов чутко реагировать на малейшие изменения окружающей среды и высокая ферментативная активность позволяют использовать их для индикации состояния экосистем и оценки деградации токсичных соединений в них. Эта особенность почвенных микроорганизмов делает их незаменимыми в современных экологических исследованиях, особенно для ранней диагностики изменений,

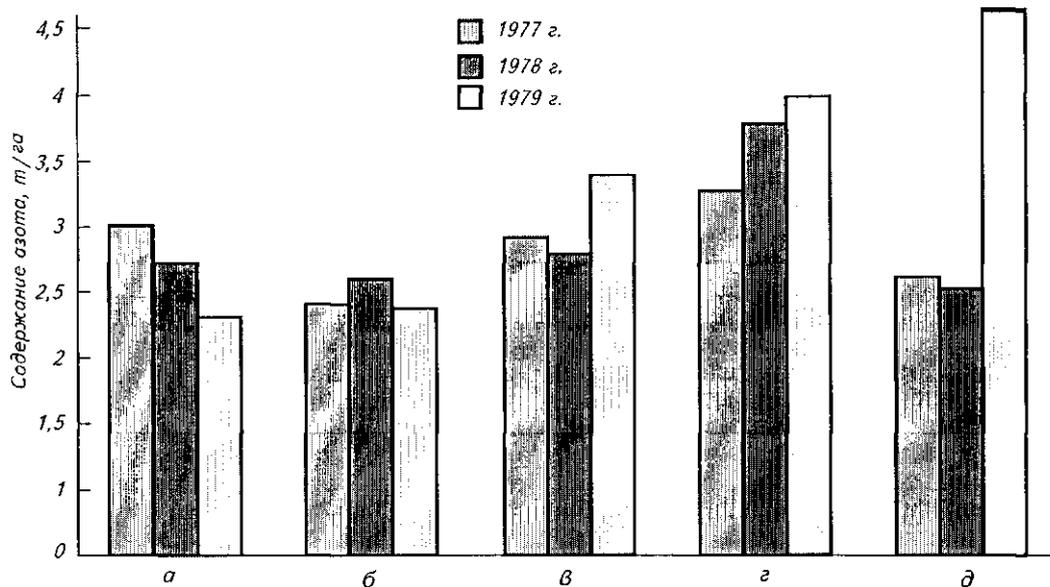


Рис. 9.6. Изменение содержания азота в микробной плазме (т/га) в почвах под лесными насаждениями (для верхнего 10-сантиметрового слоя):

а — дуб; б — сосна с липой; в — лиственница спелая; г — береза; д — лиственница молодая

происходящих в экосистемах под воздействием токсичных веществ и их микробной трансформации.

Из множества почвенно-экологических факторов — физических, химических, агрохимических и биологических — последние являются наиболее чувствительными и способными наиболее адекватно характеризовать физиологическое состояние растений в системе почва—растение. Данное положение хорошо подтверждается материалами наблюдений за состоянием основных лесобразователей Лесной опытной дачи МСХА (дубовых, сосново-липовых, лиственничных и березовых). В качестве критерия оценки физиологического состояния древостоев использован текущий средний прирост.

Так, молодые насаждения, особенно находящиеся в возрасте жердняка (лиственница II класса возраста, береза), пребывающие в наиболее активном физиологическом состоянии, характеризуются более высоким количеством микробной биомассы, вовлекаемой в биологический круговорот, по сравнению со спелыми и преспевающими древостоями (24,6 и 26,4 т/га против 17 и Ют/га соответственно), хотя по общеприня-

тым условиям произрастания (обеспеченность элементами питания, реакция среды, гидротермический режим и пр.) последние характеризуются оптимальным уровнем. Высокая чувствительность показателя количества микробной биомассы, отражающего состояние растений, объясняется адекватностью интенсивности биологического круговорота в системе почва—растение. Чем активнее состояние растений (чем моложе растения), тем интенсивнее протекают биохимические процессы, что выражается в специфике формирования корневых выделений, которые являются питательным и энергетическим материалом для населяющих почву микроорганизмов. Микроорганизмы увеличивают свою численность, а это в конечном итоге определяет микробную продуктивность.

Количество микробной биомассы определяют по формуле Я. П. Худякова

$$M = \frac{mk(l-a)np}{100},$$

где m — масса бактериальной клетки; k — максимальное число микроорганизмов в данный период; l — длительность периода; a — длительность неактивной части периода; n — число отмерших клеток в период, %; p — число периодов.

В расчетной формуле среднюю массу бактериальной клетки (m) принимают равной $2,92 \cdot 10^{-12}$ г. Условно допускают, что в каждый период отмирает 75 % клеток.

Хотя эта зависимость была установлена и апробирована на примере лесных экосистем, подходы к ее установлению пригодны и для характеристики состояния агроэкосистем.

Таким образом, количество микробной биомассы, характеризующее физиологическое состояние растений, является интегральным показателем системы почва—растение и может быть использовано в различных экологических исследованиях (например, при нормировании антропогенных нагрузок, определении устойчивости экосистем и т. д.).

Микроорганизмы — показатели антропогенного загрязнения экосистем. Микроорганизмы, обладая исключительной чувствительностью и большим видовым разнообразием, могут служить хорошими индикаторами состояния экосистем. Так, в условиях повышенного загрязнения биогеоценозов токсичными тяжелыми металлами, переуплотнения почвы изменяется комплекс микробиологических показателей. Например, на участках, подверженных повышенному антропогенному воздействию (по уровню загрязнения свинцом двукратные различия, по степени плотности различия несколько выше), отмечается 7... 10-кратное снижение численности аэробных гетеротрофных микроорганизмов.

Изменяется также характер круговорота азота в системе почва—растение в результате снижения способности почвенной микробиоты связывать атмосферный азот и использовать его в процессе ассимиляции. Иным становится и характер распределения микроорганизмов с глубиной, особенно зародышей *Bac. idosus*. В почвах естественного сло-

жения (плотность $0,6...1,0$ г/см³) содержание зародышей данного вида возрастает с глубиной вследствие высокой приспособленности их к условиям уплотнения. В экосистемах с повышенной рекреационной нагрузкой (плотность $1,3... 1,8$ г/см³), которая приводит к значительному уплотнению почвы, содержание зародышей *Bac. idosus* с глубиной снижается.

Под влиянием загрязнения и уплотнения нарушается репродуктивная функция актиномицетов, что выражается в увеличении доли их аспорогенных форм, появлении актиномицетов группы *Niger*.

Высокую индикационную способность рассмотренных показателей подтверждают и результаты модельных опытов, проведенных на дерново-подзолистой почве. Так, увеличение содержания свинца, значительно ослабляющего функционирование экосистемы (что проявляется в снижении интенсивности роста подземных и надземных органов растений), диагностируется ростом содержания стерильных актиномицетов, появлением черноокрашенных групп данных микроорганизмов (группа *Niger*), снижением видового разнообразия бацилл и появлением фитопатогенных грибов (табл. 9.5 и 9.6).

Полученные результаты могут быть использованы при оценке «здоровья» почвы, устойчивости экосистем, нормировании загрязнений.

Микробная трансформация органических токсичных соединений в почве. Высокая ферментативная активность микроорганизмов определяет их главенствующее значение в процессах разложения токсикантов в почве.

Процесс деградации осуществляется либо в результате перевода токсикантов в связанное состояние, либо вследствие превращения их в менее токсичные со-

9.5. Состояние агроэкосистемы в зависимости от загрязнения почв свинцом

Содержание Pb, мг/кг	Длина корней, % от контроля	Интенсивность роста корней, мм/сут	Поверхностная плотность колеоптилей, мг/см ³	
			через 15 сут	через 30 сут
40	100	0,036	0,027	0,081
80	68	0,030	0,034	0,081
800	50	0,020	0,039	0,071
8000	31	—	Не вышел	Не вышел
80000	13	—	Засох	Засох

9.6. Микробиологическая диагностика загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами (на примере свинца)

Содержание Pb, мг/кг	Содержание стерильных актиномицетов, %		Содержание актиномицетов группы Niger (тыс. в 1 г)		Число видов бацилл	Содержание фитопатогенных грибов, %	
	под овсом	в парующей почве	под овсом	в парующей почве		Fusarium	Alternaria
40	Не определяли	10...15	—	—	7...8	—	—
80	То же	20	—	—	5...6	—	—
800	»	25...30	30	32	3...4	20	18
8000	95	50...70	395,5	303,5	1...2	Не определяли	
80 000	50	90	30,7	Не определяли	Не определяли	То же	

единения. При этом микроорганизмы могут потреблять тот или иной препарат в качестве ростовых и энергетических материалов. Например, распад ксенобиотика метурина идет через дегидроксилирование с образованием фенолметилмочевины. Это соединение под действием почвенной микрофлоры деметируется с образованием фенолмочевины, которая гидролизует до анилина. Анилин используется микрофлорой (штамм *Alcaligenes faecalis*) в качестве источника углерода и энергии. Активный бактериальный штамм *Pseudomonas aurantiaca* с помощью ферментов, в свою очередь, трансформирует анилин и его хлорзамещенные аналоги в соответствующие ацетанилиды. В отсутствие источников углерода микроорганизмы вновь высвобождают исходные анилины, используя ацетильные группы в качестве ростового субстрата.

В использовании микроорганизмами (смешанной культурой бактерий) пестицидов в качестве ростовых и энергетических субстратов, возможно, заключается радикальное решение проблемы детоксикации ксенобиотиков. Необходимо создавать оптимальные условия для нормального формирования и функционирования почвенной биоты как фактора устойчивости экосистем и как одной из важных предпосылок, обеспечивающих получение экологически безопасной сельскохозяйственной продукции.

9.3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ ПОЧВЫ В ЭКОСИСТЕМАХ

Функции почвы. Почва как компонент биосферы участвует одновременно в процессах биогеоценозического, витасферного и биосферного структурных

уровней ее организации, занимая центральное положение во взаимодействиях геологического, микро- и макробиогеоценозного природных круговоротов. При этом в биогеоценозе почва выполняет интегрирующие и управляющие функции. По замечанию профессора А. Н. Тюрюканова, круговорот веществ в биоценозе зависит от фотосинтеза растений, в почве же находится управляющая система биогеоценоза. С одной стороны, почва является средой обитания, кормилицей и физической опорой для огромного числа организмов, а с другой — регулирует круговороты всех элементов в биосфере (биогеохимические циклы), осуществляет глобальные экологические функции (Добровольский, Никитин, 1986).

Обеспечение жизни на Земле — главная функция почвы. Реализация этой функции зависит от концентрации в почве в доступных формах химических соединений биогенных элементов, необходимых организмам. Почва — своеобразное депо, удерживающее важнейшие биогены (углерод, азот, фосфор, серу, кальций, калий и др.) от быстрого смыва их в Мировой океан. Почва аккумулирует влагу, обеспечивая в период вегетации потребность в ней автотрофного звена биогеоценозов. Она служит сферой обитания растений, животных, микроорганизмов и т. д.

Почва упорядочивает все потоки веществ в биосфере, выступая в качестве связующего звена и регулирующего механизма в процессах биологической и геологической циркуляции элементов: по существу, она «замыкает» все биогеохимические циклы.

Почва регулирует состав атмосферы и гидросферы. В результате постоянного газообмена между почвой и атмосферой в воздушный бассейн трансформируют -

ся различные газы (в том числе и «парниковые»), микрогазы. Например, при разложении мертвых растительных остатков в среднем на 1 га суши производится 84 кг диоксида углерода в сутки. Установлено, что 40...70 % этого газа, используемого в процессе фотосинтеза, обеспечивается «дыханием почвы». Остальное количество привносится путем горизонтального и турбулентного перемещения воздушных масс. В свою очередь, почва одновременно поглощает атмосферный кислород. Обогащая (избирательно) поверхностные и подземные воды химическими веществами, почва влияет на гидрохимическое состояние вод суши и прибрежных акваторий морей и океанов.

Важнейшая глобальная функция почвы — накопление в поверхностной части коры выветривания, в почвенных органогенных горизонтах специфического органического вещества — гумуса и связанной с ним химической энергии.

Процессы биогенного накопления, трансформации и перераспределения энергии, поступающей от Солнца на Землю, протекают в почве непрерывно. (Почва выполняет своеобразную космическую функцию.) Запасы этой энергии являются источником жизненно важных процессов. Сосредоточена потенциальная биогенная энергия в почвенном покрове главным образом в виде корней растений, биомассы микроорганизмов и гумуса. Как свидетельствуют экспертные оценки, суммарные запасы энергии, связанной в гумусе почвенного покрова всей суши планеты, достигают $4,2 \cdot (10^{15} \dots 10^{16})$ Дж. Они равны запасам энергии, накопленной надземной частью фитомассы, или превышают их. Характерно, что запасы потенциальной энергии целинных черноземов в гумусовом горизонте $_2$ на 1 га составляют примерно $4,2 \cdot 10^7$ Дж. Очевидно, что почвенный покров, особенно гумусовая оболочка суши, служит общепланетарным накопителем и распределителем энергии, образованной в процессе фотосинтеза.

Почва защищает литосферу от влияния экзогенных факторов и регулирует интенсивность геологической денудации.

Почва выступает как регулятор распространения живых организмов, вы-

полняя функцию генерирования и сохранения биологического разнообразия. Будучи средой обитания множества организмов, она ограничивает деятельность одних и способствует активности других. Чрезвычайное разнообразие почвенных разностей предопределяет весьма различные условия жизнедеятельности организмов. От этого, в частности, зависят плодородие почв и устойчивость агроэкосистем. Например, черноземные почвы, характеризующиеся высокой численностью микробного населения, обладают высоким плодородием и лучшей устойчивостью к неблагоприятным факторам среды. Дерново-подзолистые, а особенно подзолистые почвы отличаются более низкой обсемененностью почвенными микроорганизмами, невысоким плодородием и слабой устойчивостью к различным токсикантам. Следовательно, северные ценозы отличаются большей ранимостью, чем южные, и это необходимо учитывать в процессе производственной деятельности.

Значение почвы в агроэкосистемах.

Почва — главное средство сельскохозяйственного производства и основа агроэкосистем. Человечество получает из почвы около 95 % всех продуктов питания. Забота о сохранении почвенного плодородия, «здоровья» почвы должна быть приоритетной в сельскохозяйственном производстве.

Почва представляет собой жизненное пространство, обеспечивающее обитание живых организмов.

Почва является механической опорой произрастающей на ней растительности.

Незаменима роль почвы как хранителя семян. Способность почвы хранить семена в течение нескольких лет без потери всхожести объясняется наличием веществ, ингибирующих прорастание семян. Тем самым в природе поддерживаются биоразнообразие и способность к обновлению растительных популяций.

Почва аккумулирует необходимые для жизнедеятельности населяющих ее организмов, в том числе первичных продуцентов, воду, питательные и энергетические вещества, что в значительной степени определяет ее плодородие.

Почва — своеобразный склад ферментов. В ней находятся все известные в

живых организмах ферменты, в том числе определяющие почвенное плодородие и ее «здоровье» — пероксидазы, нитрогеназы, нитратредуктаза, катал аза и др. Работа этих ферментов определяет азотный режим почвы, доступность элементов питания, а также способность почвы к детоксикации различных поллютантов.

Почва регулирует гидротермический режим, что позволяет населяющим ее организмам сохранять свою жизнедеятельность при определенных значениях температуры и влажности.

Почва выполняет санитарную функцию. Высокая самоочищающая способность почвы за счет обитающей в ней биоты обеспечивает обезвреживание многих патогенов и токсикантов, что положительно влияет на качество сельскохозяйственной продукции, состояние окружающей природной среды.

Почве присуща информационная функция. Известно, например, что переход весной температуры почвы через +5 °С стимулирует активизацию (увеличение подвижности) азота, фосфора, калия, т. е. указанный предел температуры служит «сигналом» к началу потребления питательных элементов в связи с наступлением вегетационного периода. От особенностей почвенного покрова зависят «поспевание почвы», продолжительность вегетационного периода в различных экологических условиях. Почва выступает в качестве биохимического барьера. Способность поглощать различные соединения, в том числе токсичные, позволяет ей выполнять роль химического санитара окружающей среды и тем самым предотвращать поступление загрязнений в сельскохозяйственную продукцию.

Нельзя не обратить внимание на еще одно уникальное свойство почвы — «память» (способность хранить долговременную информацию об экологическом состоянии территории). Это очень важно для мониторинга, для прогнозирования и др. Например, по образцам почвы, отобранным в начале XX в. и в последующие годы, была установлена динамика загрязнения экосистем токсичными тяжелыми металлами примерно за столетний период. Первоначальная (1909—1910 гг.) концентрация одного из наиболее опасных тяжелых металлов —

свинца — в верхнем 10-сантиметровом гумусовом слое дерново-подзолистой почвы на Лесной опытной даче МСХА составляла 6 мг/кг. В последнее время уровень загрязнения почвы по этому токсиканту возрос в 40...50 раз. Только по данному показателю можно предположить, что за столетний период экологическая обстановка ухудшилась, как минимум, в 50 раз, несмотря на удаленность территории от напряженных городских магистралей.

Почвоутомление. Рассматривая функциональную роль почвы в эко- и агроэкосистемах, нельзя упускать из виду определенную ограниченность ее. Эти функции не безграничны и вследствие производственной деятельности могут нарушаться. Один из примеров таких нарушений — так называемая «утомляемость почв». Внешнее проявление почвенного утомления выражается в резком снижении урожайности сельскохозяйственных культур, что наблюдается при бесменном возделывании (или частом возвращении на прежнее поле севооборота) растений одного и того же рода. Наиболее часто это отмечается при повторных посевах льна, подсолнечника, сахарной свеклы, хлопчатника и некоторых других культур.

Основные причины почвоутомления — накопление в почве токсичных веществ, выделяемых корнями растений и микроорганизмами, разложение специфических вредителей, возбудителей болезней и сорняков. Установлено, что корневая система овса выделяет скополетин (вещество, близкое к кумарину), обладающий ингибирующим действием. В продуктах выделения корневой системы льна имеется ряд ароматических соединений (агликон, феруловая, п-кумариновая и п-гидробензойная кислоты), которые обладают определенной токсичностью. В корнях люцерны аккумулируются алкалоиды, которые диффундируют в почву.

Из-за возможности продуцирования микотоксинов при почвоутомлении и сложившихся экологических условий, способствующих проявлению этого процесса, становится реальной опасность заражения почв, что представляет серьезную угрозу.

Предотвратить почвенное утомление

достаточно просто. Необходимо соблюдать севообороты, оздоравливать почвы путем внесения органических удобрений, сидератов, выращивать устойчивые сорта и т. д.

В зарубежных странах имеются специальные службы, призванные следить за состоянием почвенного плодородия. По их заключениям регулярно изымаются из сельскохозяйственного оборота земли для оздоровления и восстановления плодородия, что обеспечивает сохранность экологических функций почв.

9.4. АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

Основные виды негативных воздействий на ПБК. Будучи важнейшей жизнеобеспечивающей сферой, почва постоянно испытывает различные по времени, интенсивности, масштабам, последствиям воздействия, обусловленные многообразной производственной деятельностью человека. Антропогенный пресс, проявляющийся, например, в изъятии земель для строительных и транспортных целей, развитии процессов эрозии и дигрессии, загрязнении и захламлении и т. д., — явление глобального характера, вызывающее серьезную озабоченность мирового сообщества. Согласно оценкам Б. Г. Розанова, суммарная площадь почв, подверженных разрушению и деградации, на протяжении истории человечества достигла 20 млн км², что превышает общую пахотную площадь современного мира — 15 млн км². В документах («Повестка дня на XXI век»), принятых Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992), отмечалось, что крайняя степень деградации почв наблюдается на 1 %, сильная — на 15, умеренная — на 46 и легкая — на 38 % площади. При этом деградационные процессы на 56 % обусловлены водной эрозией, на 28 — ветровой эрозией, на 12 — химической деградацией и на 4 % — физической деградацией. На XIX Специальной сессии Генеральной Ассамблеи ООН (июнь 1997 г.) была принята Программа действий по дальнейшему осуществлению «Повестки дня на XXI век», в которой среди острых эко-

логических проблем современности выделена и проблема рационального использования и охраны земель.

Ухудшение состояния земельных ресурсов и снижение плодородия почв создают угрозу для средств существования миллионов людей и продовольственной безопасности в будущем и имеют последствия для водных ресурсов и сохранения биологического разнообразия. Необходимо в срочном порядке определить способы предотвращения или обращения вспять ускоряющегося общемирового процесса деградации почв на основе использования экосистемного подхода и с учетом потребностей населения. Самая сложная задача человечества заключается в обеспечении охраны и устойчивого использования базы природных ресурсов, от которой зависит производство продовольствия.

В Российской Федерации земли, используемые в различных хозяйственных целях, находятся в неудовлетворительном состоянии. Это — следствие нерационального природопользования (включая сельскохозяйственное), значительного сокращения работ по охране почв и земельных ресурсов. Развитие процессов деградации обусловлено действием естественных (климатические, гидрогеологические, морфодинамические, фито- и зоогенные) и антропогенных факторов. Антропогенным факторам (нерациональное ведение богарного и орошаемого земледелия, чрезмерный выпас, уничтожение почвенно-растительного покрова промышленным, коммунальным и ирригационным строительством, горные разработки, технологические и аварийные промышленные выбросы в атмосферу, сброс сточных и дренажных вод и т. п.) принадлежит, несомненно, ведущая роль в ухудшении почв. В результате наблюдаются разрушение оленьих пастбищ в северных районах, дегумификация, истощение и эрозия почв в центральной части России, опустынивание на юге; развиваются опасные природно-техногенные явления подтопления земель, загрязнения токсикантами промышленного происхождения (тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты и др.), захламления и нарушения земель.

В России за последнее десятилетие

XX в. в сфере сельскохозяйственного производства выпало из оборота порядка 20 млн га пашни.

Заслуживает внимания систематизация антропогенных воздействий на почву и возможных их последствий (табл. 9.7). Для каждой проблемной ситуации необходимо вырабатывать и реализовывать соответствующие решения, дифференцированные с учетом почвенных разностей и особенностей природных комплексов. В борьбе с эрозией и дефляцией, заболачиванием и засолением накоплен богатый исторический опыт, а загрязнение почв тяжелыми металлами, диоксинами, нефтью и нефтепродуктами, пестицидами, радиоактивными элементами и другими вредными веществами — сравнительно «молодое», достаточно специфическое явление с далеко не всегда предсказуемыми последствиями. Речь, разумеется, идет не о том, что одни антропогенные воздействия по уровню негативных проявлений лучше, а другие — хуже. Каждое из них опасно, если не предпринимать своевременно надлежащие контрмеры.

Нельзя упускать из виду опасность, обусловленную тем, что загрязняющие вещества действуют на живую компоненту биосферы (от клеточного до организменного уровня), нарушая естественные механизмы процессов обмена веществ и потоков энергии, разрывая функциональные связи в трофических цепях экосистем. Фотохимические процессы в атмосфере, химические и биологические — в водной и почвенной средах, обеспечивающие переработку загрязняющих веществ и восстановление баланса минеральных элементов в окружающей среде, не справляются с детоксикацией резко возросшего количества загрязняющих веществ. Природные регуляторы восстановления данного баланса в значительной мере нарушены.

Загрязнение тяжелыми металлами. Среди загрязняющих веществ по масштабам загрязнения и воздействию на биологические объекты особое место занимают тяжелые металлы. В принципе многие из них необходимы живым организмам, однако в результате интенсивного атмосферного рассеивания в биосфере и значительной концентра-

ции в почве они становятся токсичными для биоты.

В отечественных и зарубежных публикациях (особенно последнего десятилетия XX в.) содержится немало информации о тяжелых металлах.

В начале 90-х гг. XX в. суммарное годовое поступление тяжелых металлов в атмосферу в результате различной производственной деятельности в Северной Америке и Европе составляло: свинца — 370 тыс. т (в том числе за счет этилированного бензина 280 тыс. т), мышьяка — 31,2 тыс. т (черная и цветная металлургия, производство стекла, цемента), кадмия — 7,6 тыс. т (цветная металлургия 6,2 тыс. т) и т.д. На предприятиях цветной металлургии при производстве 1 т продукции в окружающую среду выносятся 40...60 кг свинца, до 3 кг мышьяка, около 280 г ртути, около 13 г кадмия (табл. 9.8).

В Румынии (Рэуце, Кырстя, 1986) вблизи металлургического предприятия в слое почвы 0...10 см общее содержание тяжелых металлов составляло (мг/кг): цинка — 790,0, свинца — 552,0, меди — 77,3, кадмия — 22,6. Исходя из максимально допустимых уровней загрязнения в почве (Zn — 300 мг/кг, Pb — 100, Си — 100, Cd — 3 мг/кг), выявлено 20 тыс. га почв с максимальным уровнем загрязнения и 100 тыс. га с высоким содержанием загрязняющих веществ.

В Японии загрязнение почв выхлопными газами и пылью плавильных заводов обусловило увеличение содержания в верхнем 15-сантиметровом слое почвы кадмия, меди, свинца, цинка в 1,5...50 раз.

На территории СНГ тяжелыми металлами загрязнены значительные площади. Так, в России загрязнение земель токсичными тяжелыми металлами в концентрациях от 0,2 до 10,0 т/км² в начале 90-х гг. XX в. наблюдалось на 18 млн га.

В некоторых регионах допустимые уровни превышены в сотни раз. Например, содержание одного из наиболее опасных ингредиентов — свинца — в почвах города Шымкента (ранее Чимкент, Казахстан) превышало ПДК в 340 раз; в почвах Киргизии содержание ртути оказалось в 100 раз выше ПДК.

Сельское хозяйство тоже загрязняет

9.7. Экологические последствия антропогенных изменений почв (Розанов А. Б. и Розанов Б. Г., 1990)

Антропогенные воздействия	Почвенно-деградационные процессы	Побочные экологические последствия
Богарное земледелие на маргинальных* землях	Эрозия, дефляция, дегумификация	Потеря земельных ресурсов, запыление атмосферы, исчезновение местной флоры и фауны
Орошаемое земледелие в аридных и семиаридных условиях	Заболачивание, засоление, осолонцевание, метаногенез**	Потеря земельных ресурсов, истощение водных ресурсов, загрязнение поверхностных и подземных вод, «парниковый эффект»
Орошаемое земледелие в субгумидных условиях	Деструктуризация, слитизация, осолонцевание, метаногенез	Снижение биологической продуктивности, «парниковый эффект»
Несбалансированное применение химических удобрений	Ацидификация***, химическое загрязнение почв, дегумификация	Загрязнение токсикантами, включая нитраты, природных вод и продовольственной продукции, загрязнение атмосферы оксидами углерода и азота, эвтрофирование водоемов, «парниковый эффект»
Применение биоцидов в земледелии	Химическое загрязнение почв	Загрязнение токсикантами природных вод и продовольственной продукции
Механизация земледелия	Переуплотнение почв, эрозия	Снижение биологической продуктивности
Пастбищное животноводство с превышением норм выпаса	Эрозия, дефляция, переуплотнение, дегумификация	Опустынивание, потеря земельных ресурсов
Интенсивное стойловое животноводство	Химическое загрязнение почв, метаногенез	Загрязнение токсикантами природных вод и сельскохозяйственных культур; эвтрофирование водоемов, «парниковый эффект»
Вырубка лесов на равнинах	Заболачивание, дегумификация, панциреобразование	Потеря земельных ресурсов, «парниковый эффект»
Вырубка лесов в горах	Эрозия	Потеря земельных ресурсов
Разработка нефтяных месторождений	Загрязнение почв нефтепродуктами	Потеря земельных ресурсов, «парниковый эффект»
Разработка месторождений полезных ископаемых	Физическое уничтожение или засыпание почвы, химическое загрязнение почв тяжелыми металлами	Потеря земельных ресурсов, запыление атмосферы, загрязнение природных вод и продовольственной продукции тяжелыми металлами
Теплоэнергетика	Ацидификация, химическое загрязнение почв	Снижение биологической продуктивности, «парниковый эффект», загрязнение природных вод
Транспорт	Разрушение почв (особенно в тундрах и пустынях), химическое и нефтяное загрязнение	Загрязнение природных вод и продовольственной продукции токсикантами
Металлургия и металлообработка	Химическое загрязнение почв, ацидификация	Загрязнение природных вод и сельскохозяйственных культур тяжелыми металлами, «парниковый эффект»
Химическая промышленность	Химическое загрязнение почв, ацидификация	Загрязнение природных вод и продовольственной продукции токсикантами, «парниковый эффект»
Промышленность стройматериалов	Химическое загрязнение почв	Загрязнение природных вод и сельскохозяйственных культур токсикантами
Урбанизация	Химическое загрязнение почв	Загрязнение природных вод и продовольственной продукции токсикантами, потеря земельных ресурсов, «парниковый эффект»
Избыточное природопользование в тундрах	Физическое разрушение почв, дегумификация, метаногенез	Потери земельных ресурсов, исчезновение местной флоры и фауны, «парниковый эффект»
Избыточное природопользование на аридных территориях	Комплексная деградация почв	Опустынивание, потеря земельных и водных ресурсов, исчезновение местной флоры и фауны, запыление атмосферы

* Маргинальный (от лат. *marginalis* — находящийся на краю) — находящийся между различными природными ландшафтами (например, полоса между полупустыней и пустыней).

**Метаногенез — разложение растительных и животных остатков в условиях дефицита кислорода с выделением метана (СН₄).

***Ацидификация — увеличение кислотности.

9.8 Содержание тяжелых металлов в почвах фоновых районов мира, мг/кг («Мониторинг фонового загрязнения природных сред», 1986)

Регион	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Ртуть
Западная Европа	3,8...80 (16)	0,01...1,4 (0,22)	0,10...11 (2,0)	0,001...3,0 (0,07)
Европейская территория СНГ	2,8...38 (13)	0,01...0,97 (0,28)	0,8...8,6 (2,0)	0,025...0,32 (0,11)
Зарубежная Азия	3,0...40 (14)	0,04...0,40 (0,12)	3,5...12 (7,0)	0,040...0,33 (0,11)
Азиатская территория СНГ	2,5...38 (16)	0,028...3,2 (0,26)	0,50...7,3 (3,8)	0,004...0,018 (0,01)
Северная Америка	5,2...73 (17)	0,05...0,56 (0,19)	1,0...7,5 (4,1)	0,002...0,16 (0,02)
Северная Африка	3,0...24 (15)	—	—	—
Южная Африка	1,1...71 (18)	0,08...0,81 (0,25)	—	—
Австралия, Новая Зеландия	14...20 (16)	0,15...0,20 (0,17)	—	—
Среднее содержание в почвах мира (по оценкам разных авторов)	(16) (10) (12) (20) (10) (29)	(0,21) (0,50) (0,35) (0,08) (0,50) (0,62)	(2,9) (5,0) (6,0) — (10) (И)	(0,04) (0,01) (0,06) (0,04) (0,10) (0,098)

Примечание. В скобках указано среднее значение.

почвы тяжелыми металлами (табл. 9.9). По оценкам ЦИНАО, к 1990 г. с фосфорными удобрениями в целом по СССР внесено в почву 16 633 т свинца, 3200 т кадмия и 533 т ртути. Цифры достаточно впечатляющие.

Аналогичные примеры можно, разумеется, продолжать. Их, к сожалению, слишком много. Можно констатировать наличие устойчивой тенденции формирования негативных процессов «металлогенеза», что нельзя не учитывать при ведении сельскохозяйственного производства.

По данным агрохимических обследований, выявлены сотни тысяч гектаров пахотных земель, загрязненных тяжелыми металлами, на которых необходимо проводить специальные профилактические мероприятия, предотвращающие загрязнение растительной продукции токсикантами (табл. 9.10). В 1996 г. в Российской Федерации более 1 млн га почв сельскохозяйственных угодий было загрязнено особо токсичными (I класс опасности) и около 2,3 млн га — токсичными (II класс опасности) элементами.

9.9. Сельскохозяйственные источники загрязнения почв тяжелыми металлами и фтором, мг/кг сухой массы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989)

Элемент	Орошение сточными водами	Фосфорные удобрения	Известковые материалы	Азотные удобрения	Органические удобрения	Пестициды
As	2...26	2...1200	0,1...24,0	2,2...120,0	3...25	22...60
Cd	2...1500	0,1...170,0	0,04...0,10	0,05...8,50	0,03...0,80	—
Co	2...260	1...12	0,4...3,0	5,4...12,0	0,3...24,0	—
Cr	20...40 000	66...245	10...15	3,2...19,0	5,2...55,0	—
Si	50...3300	1...300	2...125	1...15	2...60	12...50
F	2...740	8500...38000	300	—	7	18...45
Hg	0,1...55,0	0,01...1,20	0,05	0,3...2,9	0,09...0,20	0,8...42,0
Mn	60...3900	40...2000	40...1200	—	30...550	—
Mo	1...40	0,1...60,0	0,1...15,0	1...7	0,05...30,00	—
Ni	16...5300	7...38	10...20	7...34	7,8...30,0	—
Pb	50...3000	7...225	20...1250	2...27	6,6...15,0	60
Se	2...9	0,5...25,0	0,08...0,10	—	2,4	—
Sn	40...700	3...19	0,5...4,0	1,4...16,0	3,8	—
Zn	700...49 000	50...1450	10...450	1...42	15...250	1,3...25,0

9.10. Площади пахотных почв Российской Федерации, загрязненных тяжелыми металлами и фтором на 1 января 1995 г. (Обваренко и др., 1997)

Площади	Pb	Cd	Hg	Ni	Cr	Zn	Co	Cu	As	F
Обследованные	<u>16380,7</u>	<u>14257,7</u>	<u>7037,2</u>	<u>8667,5</u>	<u>5957,5</u>	<u>24783,5</u>	<u>9256,7</u>	<u>22326,0</u>	<u>2789,0</u>	<u>3054,2</u>
	12,9	11,3	5,6	6,8	4,7	19,6	7,3	17,6	2,2	2,4
С содержанием тяжелых металлов выше ПДК	<u>273,0</u>	<u>27,7</u>	—	<u>56,0</u>	<u>33,3</u>	<u>54,0</u>	<u>94,3</u>	<u>449,2</u>	<u>34,2</u>	<u>14,9</u>
	1,7	0,2	—	0,7	0,6	0,2	1,0	2,0	1,2	0,5
в том числе:										
по валовому содержанию	<u>255,6</u>	<u>11,9</u>	—	<u>9,0</u>	<u>32,4</u>	<u>39,5</u>	<u>94,3</u>	<u>28,6</u>	<u>34,3</u>	<u>0,5</u>
	1,6	0,1	—	0,1	0,5	0,15	1,0	0,1	1,2	—
по содержанию подвижных форм	<u>17,4</u>	<u>15,8</u>	—	<u>47,0</u>	<u>0,9</u>	<u>14,57</u>	—	<u>420,6</u>	—	<u>14,4</u>
	0,1	0,1	—	0,6	—	0,05	—	1,9	—	0,5

Примечание. Общая площадь пашни 126,589 млн га. В числителе указана площадь в тыс. га, в знаменателе — в процентах от общей площади (первая строка) и в процентах от обследованной площади (остальные строки).

К тяжелым металлам относятся химические элементы, имеющие плотность более 5 г/см³ или атомную массу более 50 единиц. По степени опасности их делят на три класса:

I класс — особо токсичные	II класс — токсичные	III класс — слабо токсичные
Кадмий (Cd)	Бор (B)	Барий (Ba)
Мышьяк (As)	Кобальт (Co)	Ванадий (V)
Ртуть (Hg)	Медь (Cu)	Вольфрам (W)
Свинец (Pb)	Молибден (Mo)	Марганец (Mn)
Селен (Se)	Никель (Ni)	Стронций (Sr)
Цинк (Zn)	Сурьма (Sb)	
	Хром (Cr)	

Тяжелые металлы играют важную роль в обменных процессах, но в высоких концентрациях вызывают загрязнение почв, вредно воздействуют на экосистемы. Токсичное действие тяжелых металлов может быть прямым и косвенным. В первом случае блокируются реакции с участием фермента, что приводит к уменьшению либо к прекращению его каталитического действия (табл. 9.11). Косвенное воздействие проявляется в переводе питательных веществ в недоступное состояние и создании «голодной» среды.

Опасность, вызываемая загрязнением тяжелыми металлами, усугубляется еще и слабым выведением их из почвы. Так, период полужизни в условиях почвенных лизиметров варьирует в зависимости от вида металлов следующим образом: для Zn — 70...510 лет, Cd — 13...1100, Си-310...1500, РЬ-740...5900 лет.

Тяжелые металлы претерпевают в почве химические превращения

9.11. Тяжелые металлы, входящие в состав некоторых энзимов, и последствия их замены (Williams, 1967)

Энзимы	Первичный металл	Металлы, которые могут замещать первичный металл, и наблюдаемая при этом эффективность фермента	
		уменьшение	полное прекращение
Декарбоксилаза	Mn	Mg	Co, Ni, Zn
Энолаза	Mn	Mg, Zn, Fe, Be, Cu	Co, Ni
АТФ-азы	Mn	Mg, Ni, Zn	Cu, Hg, Pb
Аргининаза	Mn	Ni, Co	Cu
Карбоксилаза, пептидаза	Zn	Co, Ni, Mn	Cu, Cd, Hg, Pb
Дегидрогеназа	Zn	Co, Ni, Mn	Cu, Cd, Hg, Pb
Трансфераза	Fe	—	Cu, Cr, Mn

(рис. 9.7), в ходе которых их токсичность изменяется в очень широких пределах. Наибольшую опасность представляют подвижные формы тяжелых металлов, т. е. наиболее доступные для живых организмов. Подвижность же существенно зависит от почвенно-экологических факторов, основные среди которых — содержание органического вещества, кислотность почвы, окислительно-восстановительные условия, плотность почвы и др.

Загрязнение диоксинами. Среди токсикантов антропогенного происхождения, загрязняющих экосистемы (в том числе и почвы), огромную опасность представляют диоксины. В главе 23 подробно рассмотрены природа этого токсиканта, последствия его воздействия, меры нейтрализации и т. д.

Диоксины характеризуются необычайно высокой устойчивостью в почве. При попадании на почву они переходят

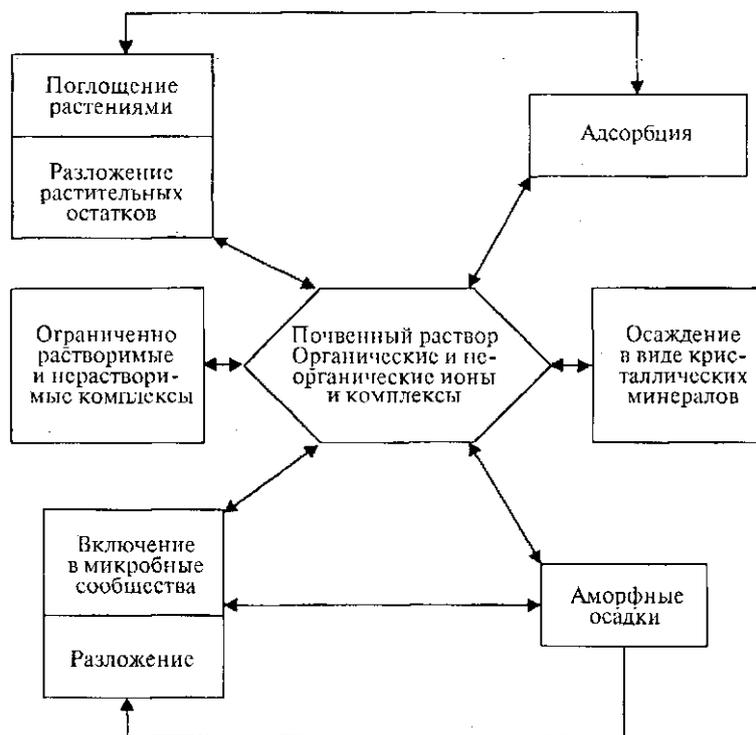


Рис. 9.7. Круговорот тяжелых металлов в почве

в ее органическую фазу, мигрируют (главным образом в вертикальном направлении) в виде комплексов с органическим веществом, поступая в водоемы и включаясь в пищевые цепи. В связи с огромной экологической опасностью, связанной с загрязнением окружающей среды диоксинами, введены ограничения на пригодность почв, зараженных данными токсикантами, для различного использования. Непригодными для проживания считаются почвы с концентрацией диоксинов 1 нг/кг; пригодны для использования под промышленное строительство — с концентрацией более 0,25 нг/кг, для использования в сельском хозяйстве — более 0,01 нг/кг (Pols, 1988, нормы Агентства охраны природы США).

Обеззараживать почвы от диоксинов исключительно трудно. Пока что можно говорить лишь о снижении опасности, которую они представляют. В первую очередь необходимо совершенствовать технологии на производствах, являющихся источником токсиканта, жестко соблюдать нормы содержания его в раз-

личных объектах (воде, почве), разрабатывать технологии, разрушающие препарат. Возможные меры по снижению токсичности уже загрязненных территорий — удаление и разложение диоксинов путем термической обработки с помощью инфракрасного нагрева, методом электрического пиролиза, ультрафиолетового фотолитиза и др.

Загрязнение микотоксинами. Серьезная угроза для экосистем — загрязнение почв микотоксинами — ядами, продуцируемыми микроскопическими грибами. Микотоксины могут поражать кормовые растения, корма, а также животных и человека. Из известных многочисленных видов грибов (160...300) способность к продуцированию ядов обнаружена примерно у 50 % (грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Helminthosporium*, *Cladosporium*, *Alternaria* и др.).

Способность к продуцированию токсинов отмечена не только у грибов, она присуща бактериям и актиномицетам. Эта способность усиливается при ухуд-

шении экологической обстановки. При изучении влияния повышенных доз свинца и пестицида купрозана (исключен из применения) было установлено снижение энергии прорастания овса, уменьшение развития корневой системы, что указывает на наличие токсичных веществ в почве. При этом в составе микробного населения доминантами становились актиномицеты группы *Niger* и их стерильные формы, сокращалось видовое разнообразие бактерий.

Для снижения и предотвращения опасности загрязнения микробными токсинами необходимо использовать естественные биологические механизмы защиты почв, включая структуру микробного ценоза и его биоразнообразие.

В результате антропогенного воздействия в почвах сильно снизилась активность действия естественных природных механизмов, определяющих устойчивость и продуктивность экосистем, а также качество окружающей среды. Основные причины нарушения этих процессов: дегумификация, увеличение кислотности, нарушение гидрологического режима, переуплотнение почв и др.

С середины 60-х гг. содержание гумуса в почвах России уменьшилось в среднем на 0,4...0,6 % (табл. 9.12).

9.12. Динамика изменения содержания гумуса в пахотном слое почвы различных регионов страны (по обобщенным данным Всероссийского проектно-технологического института органических удобрений)

Республика, край, область	Период между обследованиями, лет	Изменение содержания гумуса, т/га в год
Российская Федерация в целом	15...20	-0,6
Республика Удмуртия	15	-0,6...1,0
Республика Татарстан	30	-0,97
Алтайский край	20	-0,52
Краснодарский край	20	-1,5
Тверская область	15...25	-0,5
Рязанская область	15...25	-0,5
Тульская область	15...25	-0,7
Владимирская область	16...18	-0,4...0,5
Белгородская область	18...20	-0,6...1,4
Ленинградская область	13	+0,8
Самарская область	15...25	-0,6
Ростовская область	15...25	-0,7
Омская область	15...25	-0,7
Оренбургская область	12...20	-0,82
Новосибирская область	12...20	-0,68

По данным ЦИНАО, количество пахотных земель, содержащих менее 2 %

гумуса, составляет 23 % обследованной площади. В Нечерноземной зоне на почвы с содержанием гумуса ниже 2 % приходится около 50 %. Известно, что уменьшение содержания гумуса только на 0,1 % приводит к снижению урожая на 80... 120 зерновых единиц с 1 га.

Для обеспечения в пахотном слое почв оптимального содержания питательных элементов и гумуса необходимо ежегодно вносить в целом по России не менее 16,5 млн т минеральных удобрений, 50 млн т мелиорантов и 600 млн т органических удобрений. Фактически в 1993 г. внесли 4,8 млн т минеральных удобрений и 231 млн т органических, в 1996 г. — соответственно 1,6 и 88,1 млн т.

Ухудшение состояния почвенного покрова создает условия для продуцирования микроорганизмами микотоксинами, что в перспективе может привести к непредсказуемым экологическим последствиям. Следовательно, необходимо решать задачи, направленные на сохранение гумуса в почве, оптимизацию кислотности почвенного раствора, предотвращение переуплотнения, регулирование окислительно-восстановительного потенциала.

Глубокий экономический кризис в России, охвативший и аграрный сектор экономики, в сочетании с явно выраженными проявлениями экологического неблагополучия угрожает необратимыми изменениями плодородия почв, ставя под серьезное сомнение возможность обеспечения продовольственной безопасности государства.

9.5. НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ

Виды нормирования. Нормирование химических элементов в почве — достаточно сложная задача. Это объясняется несколькими причинами. Отсутствует, например, единая методология нормирования, имеются трудности в получении объективной информации о состоянии экосистем и др. Тем не менее накопленные материалы могут служить основой для оценки экологического состояния в системе почва—растение.

Нормирование содержания химических веществ в почве означает установле-

ние концентрации того или иного элемента, снижающей почвенное плодородие, вызывающей повреждение растений и накопление в них элемента выше или ниже определенного уровня.

Уровень загрязнения почв контролируется различными нормативами, входящими в систему стандартов и ГОСТов. Постоянно разрабатываются общие принципы нормирования содержания химических загрязняющих веществ в почве. Различают санитарно-гигиеническое, экологическое и социально-экономическое нормирование.

Санитарно-гигиеническое нормирование. В основе этого вида нормирования лежат предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ (элементов), характеризующие такое количество вредных веществ в среде, которое практически не влияет на здоровье человека и благополучие его потомства. Используют также показатель предельно допустимый выброс (ПДВ).

Санитарно-гигиеническое нормирование учитывает четыре основных показателя: транслокационный (переход загрязняющих веществ из почвы в растение через корневую систему), миграционно-воздушный (переход загрязняющих веществ в воздух), миграционно-водный (переход загрязняющих веществ в воду), общесанитарный (влияние загрязняющих веществ на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность).

Поскольку токсиканты поступают в организм человека в основном с продуктами питания, очень важно при санитарно-гигиеническом нормировании учитывать пути миграции поллютантов в системе почва—растение и отношение растений к загрязняющим веществам.

Миграция загрязняющих веществ в системе почва — растение определяется несколькими факторами; основные из них — миграционная способность токсиканта и отношение к нему растения. Миграция загрязняющих веществ в почве зависит от их вида, особенностей почвенного покрова (гумусированность, гранулометрический состав и пр.), типа водного режима, температурного фактора. Например, свинец в почве менее подвижен, чем кадмий. Комплексы свинца с гуминовыми кис-

лотами почти в 150 раз прочнее, чем аналогичные комплексы кадмия. Свинец и ртуть мигрируют на незначительную глубину (примерно до 10 см); проникновение же в глубину почвы у кадмия, меди и цинка выражено сильнее (они мигрируют на глубину до 30 см).

Аналогичные результаты получены и в других исследованиях: 57...74 % свинца и ртути при антропогенном загрязнении закрепляется в слое 0... 10 см и только 3...8 % мигрирует до глубины 30...40 см.

Миграция тяжелых металлов по органам растений может быть представлена следующим рядом (в порядке убывания): корни — стебли — листья — семена — плоды — клубни. Причем содержание тяжелых металлов в тканях корня может увеличиваться в 500...600 раз, что свидетельствует о больших защитных (буферных) возможностях этого подземного органа (табл. 9.13).

9.13. Распределение свинца в пшенице, выращенной на загрязненной этим элементом почве, мг/кг абсолютно сухой массы (Ильин, Степанова, 1980)

Доза свинца, внесенная при закладке опытов, мг/кг	Чернозем выщелоченный суглинистый			Дерново-подзолистая супесчаная		
	Кушение		Полная спелость, зерно	Кушение		Полная спелость, зерно
	Корни	Листья		Корни	Листья	
0	4,1	3,5	0,6	5,9	3,9	0,4
50	13,0	3,6	0,5	47,0	3,8	0,4
100	31,0	3,6	0,5	81,0	4,8	0,5
500	127,0	6,0	0,7	713,0	16,0	1,1
1000	238,0	9,0	0,7	1250,0	33,0	2,8
2000	440,0	22,0	1,9	3240,0	76,0	5,0

Среди травянистых наибольшая устойчивость отмечается у растений следующих семейств: Gramineae (Злаковые), Fabaceae (Бобовые), Chenopodiaceae (Маревые). Например, высокие концентрации РЬ выдерживает ежа сборная. По чувствительности к Cd и способности накапливать его растения располагаются (по восходящему ряду) следующим образом: томаты — овес — салат — луговые травы — морковь — редька — фасоль — горох — шпинат.

Известно, что различные грибы концентрируют Hg, Se, Cd, Си, Zn в больших количествах.

Пока разработано ограниченное количество нормативов ПДК тяжелых металлов в почве, так как почва в отличие

от гомогенных водной и воздушной сред является сложной гетерогенной системой, меняющей поведение токсикантов в зависимости от некоторых свойств.

Трудности обоснованной оценки почвенно-экологического состояния территории — одна из причин различного уровня фитотоксичности почв, установленного разными исследователями (табл. 9.14).

9.14. Суммарные концентрации микроэлементов в поверхностном слое почв, считающиеся предельными в отношении фитотоксичности, мг/кг сухой массы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989)

Элемент	Концентрация (по данным разных авторов)					
	Ковальский	El-Bassam	Lin-zon	Кабата-Пендиас	Kloke	Kitagischi
Ag	—	—	2	—	—	—
As	—	50	25	30	20	15
B	30	100	—	100	25	—
Cd	—	5	8	5	3	—
Cr	—	100	75	1000	100	—
Si	60	100	100	100	100	125
Fe	—	500	—	1000	200	—
Hg	—	5	0,3	5	2	—
Pb	—	100	200	100	100	400
V	—	—	60	100	50	—
Zn	70	300	400	300	800	250

Реальную угрозу для экосистем представляет не валовое содержание токсикантов, а содержание их подвижных форм, поэтому в последние годы медики-гигиенисты проводят нормирование не только по общему содержанию загрязняющих веществ, но и по концентрации их подвижных форм.

Степень прочности связи токсиканта в почве, т. е. его подвижность, зависит от почвенно-экологических факторов, которые необходимо учитывать при нормировании. Решая задачи нормирования, в первую очередь следует учитывать гумусовое состояние почв, поскольку почвы разного генетического типа заметно различаются по сорбционной способности (табл. 9.15)

9.15. Содержание подвижных форм свинца в разных почвах и общее содержание этого элемента в произрастающих на данных почвах растениях пшеницы при разных дозах загрязнения почвы свинцом, мг/кг абсолютно сухого вещества (Степанова, 1980)

Доза свинца, внесенная при закладке опытов, мг/кг почвы	25 июня		28 августа	
	в почве	в листьях (кущение)	в почве	в соломе (созревание)
Чернозем	<i>выщелоченный</i>		<i>среднесуглинистый</i>	
	0	3,0	2,3	3,3
200	198,8	2,8	198,0	2,7

Продолжение

Доза свинца, внесенная при закладке опытов, мг/кг почвы	25 июня		28 августа	
	в почве	в листьях (кущение)	в почве	в соломе (созревание)
300	289,8	3,3	292,0	3,0
400	382,1	4,3	387,4	3,1
500	460,9	5,5	477,1	3,5
	<i>Дерново-подзолистая</i>	<i>супесчаная</i>	<i>почва</i>	
0	1,2	1,8	1,3	2,3
25	22,8	2,3	23,3	2,4
50	44,2	2,7	43,6	2,7
100	89,1	3,4	104,8	4,0

Миграционная способность токсикантов, в частности тяжелых металлов, в значительной степени зависит от кислотности почв (табл. 9.16).

9.16. Содержание микроэлементов (мкг/л) в природных почвенных растворах, полученных центрифугированием из почв с разными значениями pH (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989)

Элемент	ТИП почвы и интервал pH				
	кислая песчаная (2Д..4)	песчаная (4...4,5)	алеври-товая (5Д..6.5)	суглинистая (7...7,5)	известковая (7,5...7,8)
Cd	107	—	—	—	—
Co	—	—	—	0,5	5
Si	783	76	20	50	50
Fe	2223	1000	500	200	100
Mn	5965	8000	5000	100	700
Mo	—	—	—	5	3
Pb	5999	—	—	—	—
Zn	7137	1000	5000	100	300

Гранулометрический и минералогический составы почвы, формируя емкость катионного обмена, также влияют на миграционную способность тяжелых металлов.

В почвах тяжелого гранулометрического состава подвижность токсикантов снижается. Уплотнение почвы вызывает увеличение подвижности загрязняющих веществ. Окислительно-восстановительные условия в почвах также влияют на процессы миграции токсикантов. Токсичность того или иного элемента может меняться и в зависимости от микро- и макроэлементного состава почвы в окружающей корень среде (табл. 9.17), что следует учитывать при нормировании содержания загрязняющих веществ в почве.

9.17. Взаимодействие между макро- и микроэлементами в растениях (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989)

Макроэлемент	Антагонизм с микроэлементами	Синергизм
Ca	Al, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Mn, Zn Cu, F, Fe, Li, Mn, Ni, Bb, Zn	
Mg	Al, Ba, Be, Cr, Mn, F, Zn, Ni*, Co*, Cu*, Fe*	Al, Zn
P	Al, As, B, Be, Cd, Cr, Cu, F, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Ro, Se, Si, Sr, Zn	Al, B, Cu, F, Fe, Mo, Mn
K	Al, B, Hg, Cd, Cr, F, Mo, Mn, Rb	—
S	As, Ba, Fe, Mo, Pb, Se	F**, Fe
N	B, F, Cu	B, Cu, Fe, Mo

*Данные для микроорганизмов.

*Совместное загрязнение вызывает существенные повреждения растений.

С учетом принятых ПДК загрязняющих веществ разработана схема оценки почв сельскохозяйственного назначения (табл. 9.18). Эта схема предусматривает четыре категории оценки почв. Наименьшее антропогенное воздействие (допустимое загрязнение) относится к I категории, наибольшее — к IV категории. В зависимости от категории оценки следует использовать почвы и осуществлять необходимые мероприятия для их оздоровления. При нормировании необходимо также принимать во внимание синергический и антагонистический характер взаимовлияния многих соединений. Например, при нитратном загрязнении присутствие серы уменьшает риск онкологических заболеваний, тогда как наличие кадмия и

9.18. Принципиальная схема оценки почв сельскохозяйственного использования по степени загрязнения химическими веществами (Госкомприрода СССР, 1990)

Категория почв по степени загрязнения	Характеристика загрязненности почв	Возможное использование	Необходимые мероприятия
I. Допустимое загрязнение	Содержание химических веществ в почвах превышает фоновое, но не выше ПДК	Использование под любые культуры	Снижение уровня воздействия источников загрязнения почв. Осуществление мероприятий по снижению доступности токсикантов для растений (известкование, внесение органических удобрений и т. п.)
II. Умеренно опасное загрязнение	Содержание химических веществ в почвах превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Использование под любые культуры при условии контроля за качеством сельскохозяйственных растений	Мероприятия, аналогичные категории I. При наличии веществ с лимитирующим миграционным водным или миграционным воздушным показателями проводят контроль за содержанием этих веществ в зоне вдыхания сельскохозяйственных рабочих, в поверхностных и подземных водах
III. Высокоопасное загрязнение	Содержание химических веществ в почвах превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Использование под технические культуры без получения из них продуктов питания и кормов, в которых возможно содержание химических веществ выше ПДК. Использование под сельскохозяйственные культуры ограничено с учетом исключения растений — концентраторов химических веществ	Кроме мероприятий, указанных для категории I, обязательный контроль за содержанием токсикантов в растениях, используемых в качестве продуктов питания и кормов. Ограничение использования зеленой массы на корм скоту с учетом исключения растений — концентраторов химических веществ
IV. Чрезвычайно опасное загрязнение	Содержание химических веществ в почвах превышает ПДК по всем показателям	Исключение из сельскохозяйственного использования	Мероприятия по снижению уровня загрязнения и связыванию токсикантов в почвах. Контроль за содержанием токсикантов в зоне дыхания сельскохозяйственных рабочих, в поверхностных и подземных водах

пестицидов существенно увеличивает эту опасность. Между тем система критериев на основе ПДК не учитывает этих взаимовлияний. Кроме того, в процессе превращений загрязняющих веществ в почве могут образовываться более токсичные, чем исходные, соединения, что также не учитывается при оценках на основе существующих ПДК. Из-за множества почвенно-экологических факторов, влияющих на поведение токсикантов, единых ПДК для различных регионов быть не может, поэтому существующие нормативы не отражают в достаточной степени «здоровья» земли. Необходим поиск более простых и результативных способов соответствующих оценок. В частности, перспективна разработка интегральных показателей, более полно учитывающих биологическую составляющую, а также самостоятельных биологических критериев.

Экологическое нормирование. В основу экологического нормирования положено изучение действия загрязняющих веществ не на отдельные организмы, а на систему в целом. В данном случае предполагается получение оптимальной биопродуктивности при минимальном воздействии на окружающую природную среду. В качестве критерия воздействия предусматривается использовать (Израэль, 1984) показатель предельно-допустимой экологической нагрузки (ПДЭН), т. е. такой уровень нагрузки, при котором сохраняется нормальное функционирование экосистемы.

Нормальное функционирование эко-

систем в условиях загрязнения предполагает в первую очередь сохранение систем биотрансформации и детоксикации. В качестве оценочных при этом используют следующие показатели: самоочищающая способность почвы, степень концентрирования химического элемента в растении (коэффициент биологического поглощения — КБП), показатель содержания токсиканта в почве и коэффициент концентрации (K_c), равный отношению концентрации ингредиента в загрязненной почве к фоновой концентрации.

Критериями экологического нормирования также могут служить экологическая емкость территории, экологически оптимальная биопродуктивность (максимально возможная в конкретных условиях данного района), биологическая продуктивность биогеоценозов, агро- и урбаноценозов с учетом оптимального для данной территории состава растительного и животного мира.

В таблице 9.19 представлена шкала экологического нормирования содержания тяжелых металлов с учетом генетического типа почв.

Разработаны критерии физической деградации, химического и биологического загрязнений, которые целесообразно использовать при экологическом нормировании (табл. 9.20).

Этот перечень критериев требуется дополнить другими показателями, особое место среди которых принадлежит биологическим — наиболее чувствительным к изменениям окружающей природной среды.

9.19. Шкала экологического нормирования содержания тяжелых металлов (мг/кг) для геохимической ассоциации почв со слабокислой и кислой реакцией (Обухов, Ефремова, 1991)

Градации	Pb	Cd	Zn	Сu	Ni	Hg
<i>Уровень содержания</i>						
Очень НИЗКИЙ	<5	<0,05	<15	<5	<10	<0,05
НИЗКИЙ	5...10	0,05...0,10	15...30	5...15	10...20	0,05...0,10
Средний	10...35	0,10...0,25	30...70	15...50	20...50	0,10...0,25
Повышенный	35...70	0,25...0,50	70...100	50...80	50...70	0,25...0,50
Высокий	70...100	0,50...1,00	100...150	80...100	70...100	0,50...1,0
Очень высокий	100...150	1...2	150...200	100...150	100...150	1...2
<i>Уровень загрязнения (ПДК)</i>						
Низкий	100...150	1...2	150...200	100...150	100...150	1...2
Средний	150...500	2...5	200...1000	150...250	150...300	2...5
Высокий	500...1000	5...10	500...1000	250...500	300...600	5...10
Очень высокий	>1000	>10	>1000	>500	>600	>10

**9.20. Критерии экологической оценки состояния почв
(утверждены Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов 30 ноября 1992 г.)**

Показатели	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Удовлетворительная ситуация
<i>Основные показатели</i>			
Площадь выведенных из сельскохозяйственного оборота земель вследствие их деградации, % общей площади сельскохозяйугодий	>50	30...50	До 5
Уничтожение гумусового горизонта	A + B		До 0,1 А
Перекрытость поверхности почвы абиотическими наносами, см	>20		Отсутствие
Увеличение плотности почвы по отношению к равновесной, %	Более чем на 40	На 30...40	До 10
Превышение уровня грунтовых вод, % от критического значения	>50	25...50	Допустимый уровень
Радиоактивное загрязнение, Ки/км ² :			
цезий-137	>40	15...40	До 1
стронций-90	>3	1...3	До 0,3
плутоний (сумма изотопов)	>0,1	>0,1	
Мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м от поверхности почвы, мкР/ч	>400	200...400	До 20
Потери гумуса в пахотных почвах за 10 лет (относительные), %	>25	10...25	<1
Увеличение содержания легкорастворимых солей, г/100 г почвы	>0,8	0,4...0,8	До 0,1
Увеличение доли обменного натрия, % от емкости катионного обмена	>25	15...25	До 5
Превышение ПДК химических веществ:			
I класса опасности (включая бенз(а)пирен, диоксины)	Более чем в 3 раза	В 2...3 раза	Превышения нет
II класса опасности	Более чем в 10 раз	В 5... 10 раз	То же
III класса опасности (включая нефть и нефтепродукты)	Более чем в 20 раз	В 10...20 раз	»
Суммарный показатель химического загрязнения (Zc)	>128	32...128	<16
Снижение уровня активной микробной массы	Более чем в 100 раз	В 50...100 раз	До 5 раз
Фитотоксичность почвы (снижение числа проростков), % к фону	>200	140...200	До 110
<i>Дополнительные показатели</i>			
Доля загрязненной основной сельскохозяйственной продукции, % проверенной	>50	25...50	До 5
Число яиц гельминтов в 1 кг почвы	>10 ⁶	10 ⁵ ...10 ⁶	Отсутствие
Число патогенных микроорганизмов в 1 кг почвы	>10 ⁶	10 ⁵ ...10 ⁶	<10 ⁴
Коли-титр (для почвы — наименьшая масса почвы в г, в которой содержится 1 кишечная палочка)	<0,001	0,01...0,001	>1,0
Генотоксичность почвы (рост числа мутаций по сравнению с контролем), число раз	>1000	100...1000	<2

При использовании для экологического нормирования микробиологических критериев в условиях повышенного уплотнения почв, загрязнения легкоуглинистых и супесчаных дерново-подзолистых почв токсичными тяжелыми металлами и продуктами разложения пестицидов получены следующие результаты (табл. 9.21).

9.21. Оценка состояния экосистем

Степень устойчивости экосистемы	Микробиологические критерии				
	содержание стерильных актиномикетов, %	наличие актиномикетов группы Niger, %	число видов бацилл	содержание фитопатогенных грибов, %	уменьшение микробной биомассы, %
Высокая	Отсутствуют	Отсутствуют	7...8	Отсутствуют	Отсутствует
Средняя	35...40	»	Не определяли		Не отмечено
Слабая	52...50	>50	3	18*. 20	20...50

Экосистемы, отличающиеся высокой и средней степенью устойчивости, характеризуются значительным видовым разнообразием бактерий, отсутствием черноокрашенных актиномицетов группы *Niger* и фитопатогенных грибов, уравновешенным количеством микробной биомассы. Нарушение устойчивости диагностируется увеличением стерильных форм актиномицетов, появлением значительного количества черноокрашенных микроорганизмов данной группы (группа *Niger*) (более 50 %), уменьшением видового разнообразия бактерий.

Нормирование с использованием экологических характеристик более адекватно отражает состояние экосистем, чем санитарно-гигиенические нормативы (на основе ПДК). При этом предусматривается повышение почвенного биопотенциала, что должно способствовать оздоровлению окружающей природной среды.

9.6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОХРАНЕНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА ПЛОДРОДИЯ ПОЧВ, ЗАЩИТА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Органические удобрения. Принимая во внимание огромное значение почвенной биоты, в частности микробиоты, для плодородия почвы и ее «здоровья», для поддержания качественного состояния окружающей природной среды, целесообразно регулярно использовать органические удобрения. Для почв Нечерноземной зоны их доза составляет 6...7 т/га. Эффективно и применение сидератов (18...20 т сидератов равнозначно внесению 15...17 т навоза на 1 га). Хорошие результаты дает и применение соломы, 1 т которой эквивалентна 3,5...4 т навоза. Между тем не менее 200...250 млн т соломы гниет в скирдах или сжигается.

В качестве органических удобрений могут быть эффективны птичий помет, торф, городской мусор, осадки полей фильтрации (после соответствующей проверки и очистки), сапропели и другие материалы.

Создание повышенного органического фона способствует активизации

биологических процессов в почве, что улучшает обеспеченность растений питательными веществами и биологически активными соединениями, а также фитосанитарное состояние почв. В свою очередь, высокий уровень этих показателей является основой экономии энергетических ресурсов.

Химическая мелиорация. Для ликвидации последствий загрязнения почв тяжелыми металлами важное значение имеют предупредительные меры, которые базируются на совершенствовании технологий производства, в том числе агрохимикатов. Хорошо очищенные отходы химической и машиностроительной промышленности после обогащения фосфором (до 100 г/кг отходов) представляют большую ценность для сельского хозяйства.

Для очистки сточных вод, применяемых в качестве удобрений, используют различные вещества: известняк, ионообменные смолы, синтетические сорбенты. Эффективными методами являются обратный осмос, вымораживание, электролиз. Заслуживает внимания способность многих микроорганизмов концентрировать некоторые металлы, что позволяет получать медь, уран и другие металлы микробиологическим путем и тем самым очищать сточные воды от присутствия тяжелых металлов.

Для ликвидации уже существующего загрязнения применяют материалы, связывающие тяжелые металлы в недоступные для растений формы (органические и минеральные удобрения, известь, цеолиты, синтетические смолы и др.). Рекомендуют также возделывать культуры, толерантные к загрязнению или используемые на технические цели.

Для сильно загрязненных территорий практикуют удаление загрязненного слоя с последующим извлечением тяжелых металлов путем перевода их соединений в подвижную форму и дальнейшего вымывания раствором $FeCl_3$ в кислой среде. Внесение в почву солей железа способствует улучшению ее физического состояния: происходит агрегирование почв за счет склеивающего эффекта железогуматных комплексов. По завершении очистки проводят комплексное окультуривание почвы: известкование, внесение органических и минеральных

удобрений, компенсирующих потери биогенных элементов при промывке.

Менее дорогой прием рекультивации почв — внесение веществ-инактиваторов. В некоторых странах (Великобритания, Германия, Франция, Япония) для этого используют меркапто-8-триазин. При этом кадмий, свинец, ртуть и никель прочно фиксируются в почве в нерастворимом и недоступном для растений виде. Элементы питания — кальций, магний, калий и др. — в данном случае не закрепляются. Недостатки этого приема — ограниченная емкость и инактивирующая способность веществ-инактиваторов.

В Германии нашли применение ионообменные смолы, образующие с металлами хелатные соединения, обладающие высокой прочностью связи. Их применяют в кислотной или солевой форме, внося в почву в виде порошка или гранул в дозах, определяемых уровнем загрязнения. Так, натриевая форма катионита сорбировала около 95 % свинца.

В основе химической мелиорации также лежит перевод тяжелых металлов в недоступное состояние, главным образом путем изменения реакции среды. В гумидных регионах с избыточным увлажнением это достигается с помощью известкования. Защитное действие известки проявляется в результате замены водорода в почвенном поглощающем комплексе (ППК) на кальций. При этом происходят нейтрализация среды и образование коллоидов гидроксидов тяжелых металлов, находящихся в почвенном растворе. Одновременно активизируется деятельность бактериальной микрофлоры, существенно возрастает биомасса микроорганизмов, часть которых может аккумулировать металлы. И если процесс биологической аккумуляции активнее процесса минерализации органического вещества, наблюдается снижение подвижности тяжелых металлов, которые закрепляются в составе ППК.

Наибольший эффект проявляется от совместного внесения извести и минеральных удобрений, так как последние компенсируют отрицательное воздействие избытка тяжелых металлов, а известкование приводит к образованию менее подвижных соединений металлов (карбонатов, фосфатов, гидроксидов) и,

как следствие, к значительному уменьшению содержания этих элементов в растениях.

Важное место в детоксикации отводится органическим удобрениям, которые также снижают подвижность тяжелых металлов вследствие образования органо-минеральных соединений, обладающих низкой растворимостью. Однако при этом необходимо учитывать степень разложения органического вещества. Внесение в почву неразложившейся и слабо разложившейся соломы при рН 8 повышало подвижность тяжелых металлов.

Для снижения фитотоксичности тяжелых металлов можно использовать природные цеолиты. Это не только хорошие сорбенты, но и источники элементов питания, а также вещества, улучшающие структуру почвы. Широко распространенный цеолит клиноптилолит фиксирует свинец в 5... 10 раз активнее, чем почва.

Для снижения опасности загрязнения почв тяжелыми металлами важно применять агрономические средства защиты (подбор сельскохозяйственных культур, использование различных частей растений с учетом неодинаковой способности их к накоплению металлов и др.). Так, по степени устойчивости к токсичному действию тяжелых металлов растения можно расположить в порядке убывания: травы — злаковые — зерновые — картофель — сахарная свекла. При одинаковом содержании свинца в почве (1000 мг/кг) картофель и томаты незначительно накапливали этот элемент, а морковь и редис аккумулировали его в количествах, в 1,5...2 раза превышающих ПДК. Различия в поглощении кадмия у разных гибридов кукурузы достигали 13... 18 раз. Особенно нежелательно возделывать на загрязненных территориях овощные листовые культуры — салат, шпинат, лук, щавель и т. п. Нельзя использовать загрязненные почвы для выращивания кормов, так как скоту скармливают те части растений и в той фазе, когда в них накапливается особенно много металлов.

Уровень почвенного плодородия и «здоровье» земли во многом зависят от состояния живых компонентов почвы. Знание законов функционирования по-

чвенной биоты, учет особенностей поведения различных ингредиентов имеют первостепенное значение для создания продуктивных, устойчивых агроэкосистем, что будет способствовать выращиванию экологически безопасной сельскохозяйственной продукции и минимизации загрязнения окружающей природной среды.

Оценка загрязнения почв. Степень загрязнения почв можно оценивать на основе учета ПДК химических веществ (табл. 9.22).

Подвижные формы меди, никеля,

цинка извлекают из почвы аммонийно-ацетатным буфером с рН 4,8 (медь, цинк), рН 4,6 (никель), подвижную форму кобальта — ацетатно-натриевым буферным раствором с рН 3,5 и рН 4,7 для сероземов и ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 для почв остальных типов. Подвижную форму фтора извлекают из почвы с рН < 6,5 0,006 М соляной кислотой, с рН > 6,5 — 0,03 М сульфатом калия. Подвижную форму хрома извлекают из почвы ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8.

9.22. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности («Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами».— М., 1987)

Вещество	ПДК, мг/кг почвы с учетом фона	Показатели вредности			
		транслокационный (накопление в растениях)	миграционный		общесанитарный
			водный	воздушный	
<i>Подвижные формы</i>					
Медь	3,0	3,5	72,0	—	3,0
Никель	4,0	6,7	14,0	—	4,0
Цинк	23,0	23,0	200,0	—	37,0
Кобальт	5,0	25,0	Более 1000	—	5,0
Фтор	2,8	2,8	—	—	—
Хром	6,0	—	—	—	6,0
<i>Водорастворимые формы</i>					
Фтор	10,0	10,0	10,0	-	25,0
<i>Валовое содержание</i>					
Сурьма	4,5	4,5	4,5	—	50,0
Марганец	1500,0	3500,0	1500,0	—	50,0
Ванадий	150,0	170,0	350,0	—	150,0
Марганец + ванадий	1000,0 + 100,0	1500,0 + 150,0	2000,0 + 200,0	-	1000,0 + 100,0
Свинец	30,0	35,0	260,0	—	30,0
Мышьяк	2,0	20,0	15,0	—	10,0
Ртуть	2,1	2,1	33,3	2,5	5,0
Свинец + ртуть	20,0 + 1,0	20,0 + 1,0	30,0 + 2,0	—	30,0 + 2,0
Медь	55*	—	—	—	—
Никель	85*	—	—	—	—
Цинк	100*	—	—	—	—
Хлорид калия	560,0	100,0	560,0	1000,0	5000,0
Нитраты	130,0	180,0	130,0	—	225,0
Бенз(а)пирен	0,02	0,2	0,5	—	0,02
Бензол	0,3	3,0	10,0	0,3	50,0
Толуол	0,3	0,3	100,0	0,3	50,0
Изопропил бензол	0,5	3,0	100,0	0,5	50,0
Альфа-метилстирол	0,5	3,0	100,0	0,5	50,6
Стирол	0,1	0,3	100,0	0,1	1,0
Ксилолы (орто-, мета-, пара-)	0,3	0,3	100,0	0,4	1,0
Сернистые соединения:					
сероводород (H ² S)	0,4	160,0	140,0	0,4	160,0
элементарная сера	160,0	180,0	380,0	—	160,0
серная кислота	160,0	180,0	380,0	—	160,0
Отходы флотации угля	3000,0	9000,0	3000,0	6000,0	3000,0
Комплексные гранулированные удобрения	120,0	800,0	120,0	800,0	800,0
Жидкие комплексные удобрения	80,0	Более 800,0	80,0	Более 800,0	800,0

*Ориентировочные ПДК.

ПДК отходов флотации угля контролируют по содержанию бенз(а)пирена в почве, которое не должно превышать его ПДК.

ПДК комплексных гранулированных удобрений состава N:P:K = 64:0:15 контролируют по содержанию нитратов в почве, которое не должно превышать 76,8 мг/кг абсолютно сухой почвы.

ПДК жидких комплексных удобрений состава N:P:K = 10:34:0 (ТУ 6-08-290—74) с добавками марганца не более 0,6 % общей массы контролируют по содержанию подвижных фосфатов в почве, которое не должно превышать 27,2 мг/кг абсолютно сухой почвы.

Фоновое содержание химического вещества в почве — содержание, соответствующее ее природному химическому составу.

Транслокация загрязняющего почву химического вещества — переход вещества из почвы в растения.

При валовом содержании загрязняющих веществ в почве, превышающем его ПДК, определяют подвижную форму этого загрязняющего вещества.

При определении загрязнения почвы металлами, для которых отсутствует ПДК, сравнивают уровни загрязнения с фоновым уровнем (табл. 9.23).

9.23. Фоновое содержание элементов в почве, мг/кг

Основной тип почвы	Регион	Ванадий	Кальций	Кобальт	Марганец	Медь	Молибден	Никель	Олово	Свинец	Хром	Цинк
Перегонно-карбонатные	Грузия	78	—	—	440	22	—	31	2,5	—	53	—
Дерново-подзолистые	Восточная Сибирь (г. Иркутск)	72	—	—	650	23	1,5	51	—	19	140	49
Каштановые	Казахстан	120	—	25	800	28	1,7	58	6	30	120	70
Черноземы	Красноярский край	—	—	—	—	—	—	12	—	25	—	—
	Южный Урал (г. Магнитогорск)	—	0,3	—	—	18	—	54	—	18	—	37
	Кемеровская область (г. Новокузнецк)	—	0,6	—	—	14	—	37	—	17	—	45
Бурые	Приморский край	80	0,25	12	860	13	2	14	13	23	54	52
Сероземы	Средняя Азия	30	—	—	300	19	—	16	14	20	31	69
Черноземы	Украина	—	—	—	—	—	—	37	—	30	—	50
Почвы мира в среднем		50	—	—	850	20	2	40	10	10	200	80

В основе оценки загрязнения почв тяжелыми металлами лежит их кларковое (среднее) содержание (табл. 9.24).

9.24. Группировка почв по валовому содержанию химических элементов, являющихся загрязняющими веществами, мг/кг

Элемент	Фон (кларк)	Группы почв и градация уровней загрязненности												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Mn	800	1600	2400	3200	4000	4800	5600	6400	7200	8000	8800	9600	10400	11200
Cr	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800
F	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800
V	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Li	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	880	960	1040	1120
Zn	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Ni	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560
Si	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
Pb	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	ПО	120	130	140
B	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	НО	120	130	140
Co	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112
As	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Mo	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Cd	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Se	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Hg	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14

Исходя из средних фактических уровней загрязненности почв тяжелыми металлами в окрестностях промышленных предприятий (металлургических, химических и др.), диаметр зоны активного загрязнения которых составляет 5...12 км, Почвенный институт им. В. В. Докучаева предложил группировку почв по валовому содержанию тяжелых элементов (по мере нарастания степени загрязнения). Почвы, относящиеся к VI группе (и последующим), характеризуются как очень сильно загрязненные. В случае 10-кратного превышения содержания некоторых элементов (Cu, Zn, Pb, Ni), что, например, имеет место в зоне загрязнений предприятий цветной металлургии, рекомендуется группировать загрязняющие элементы на основе геометрической прогрессии. В качестве знаменателя прогрессии принимают 2 для элементов с кларком более 100 мг/кг (Mn, Cr, F), 3 — для элементов с кларком 10...100 мг/кг (V, Li, Zn, Ni, Cu, Pb) и даже 4 — для элементов с кларком > 1 (Cd, Se, Hg).

Данная группировка не преследует целей характеристики почв по уровню токсичного действия на почвенную биоту, состав и свойства почвы. Тем не менее отмечено неблагоприятное воздействие таких элементов, как Zn, Си, Ni, на почвенную биоту и некоторые биохимические процессы (ферментативная активность, дыхание, нитрификационная и аммонифицирующая способность) уже при уровне загрязненности, приходящемся на II...III группы.

После определения уровня загрязнения тяжелыми металлами (валовые концентрации) целесообразно оценить содержание подвижных форм, так как именно подвижные формы представляют реальную опасность для экосистем. Если содержание тяжелых металлов на изучаемой территории превышает ПДК, то определение подвижных форм обязательно.

Следует помнить, что растворимость соединений техногенных элементов (в составе выбросов) в 1,5...2 раза выше по сравнению с соединениями самой почвы, где они преимущественно находятся в составе силикатов. Причем растворимость Ni-Mn-Zn-содержащих соединений в составе выбросов выше, чем Ст-РЬ-Си-содержащих.

При загрязнении почвы несколькими химическими элементами (веществами) опасность загрязнения оценивают, рассчитывая суммарный показатель

$$Z_c = \sum_i^n K_c - (n-1),$$

где n — число определяемых ингредиентов; l — коэффициент концентрации элемента (вещества), определяемый отношением его содержания в загрязненной почве к фоновому.

Если $Z_c < 16$, почва относится к I категории загрязнения; $Z_c = 16...32$ — ко II категории; $Z_c = 33...128$ — к III категории; $Z_c > 128$ — к IV категории.

При оценке почв с учетом степени экологического неблагополучия учитывают физическую деградацию, химическое и биологическое загрязнение. При этом состояние территории оценивают согласно классификации степени экологического неблагополучия: относительно удовлетворительное, напряженное, критическое, кризисное (зона чрезвычайной экологической ситуации), катастрофическое (зона экологического бедствия).

Оценку почв можно проводить также с учетом интенсивности и характера загрязнений. В этом случае загрязнение почвы может иметь четыре уровня (категории): допустимое, умеренно опасное, высоко опасное, чрезвычайно опасное.

В зависимости от категории почв по степени загрязнения предъявляют иск предприятиям, учреждениям, организациям. Размеры ущерба предлагают определять путем использования утвержденных соответствующими постановлениями нормативов стоимости освоения новых земель взамен изымаемых для несельскохозяйственных нужд.

Указанные нормативы стоимости рекомендуют применять в объеме 100% для IV категории загрязнения почв (чрезвычайно опасное загрязнение, при котором исключается возможность использования почв в сельскохозяйственном производстве). Для III категории загрязнения почв (высоко опасное загрязнение) размеры ущерба рекомендуется определять в объеме около 50 % нормативов стоимости, поскольку содержание ток-

сичных веществ в почвах по большинству показателей превышает ПДК, а следовательно, использование таких почв ограничено (только под технические культуры без получения на них продуктов питания и кормов для животноводства); кроме того, требуется выполнение некоторых других мероприятий, что связано с затратами. Для II категории загрязнения почв (умеренно опасное) размеры ущерба составляют 25 % нормативов стоимости с учетом

высокого содержания токсичных веществ в почвах и существующей опасности получения «экологически грязных» продуктов питания и кормов для животноводства, а также необходимости затрат на постоянный аналитический контроль за их качеством и содержанием опасных веществ в зоне пребывания рабочих, почвах и подземных водах, затрат на выполнение работ по ограничению поступления токсикантов из почв в растения.

Глава 10

БИОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

10.1. ПРИТОК ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ КАК ФАКТОР ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ В ВОДОЕМАХ. ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Интенсификация сельскохозяйственного производства существенно меняет хозяйственно-биологический круговорот веществ, что нередко приводит к обострению экологических проблем, связанных с функционированием агроэкосистем, в том числе обусловленных состоянием поверхностных и подземных вод, которые не только загрязняются токсичными веществами, но и находятся под воздействием процессов усиленного эвтрофирования (от греч. *eutrophe* — тучность, жирность, усиленное питание). Являясь фактором-участником в процессах эвтрофирования, сельское хозяйство может оказаться в крайне неблагоприятной ситуации при водообеспечении селитебных территорий, животноводческих комплексов и орошаемых массивов.

Под эвтрофированием нередко понимают обогащение вод питательными веществами, вызывающее массовое развитие водорослей. Однако это всего лишь видимая часть сложного естественно-антропогенного процесса, в котором преобладают природные про-

цессы (рис.10.1), а воздействие человека играет роль мощного катализатора. Таким образом, эвтрофирование (эвтрофикация, эвтрофия) вод — это повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под воздействием антропогенных или естественных (природных) факторов. (Иногда применяют также термин «эвтрофикация».)

Эвтрофирование водоемов как за рубежом, так и в нашей стране интенсивно изучалось в период Международного десятилетия водных проблем (1980—1990 гг.). Начальным этапом процесса эвтрофирования признано избыточное поступление биогенных элементов в водотоки и водоемы. Однако этот процесс не ограничивается поверхностными водами, поэтому в последние годы термин «эвтрофирование» применяют и для характеристики состояния подземных вод, а также загрязнения зон морей и Мирового океана. На рисунке 10.2 показаны основные процессы развития эвтрофирования.

В геологических масштабах времени водоемы постепенно обогащаются биогенами и заполняются поступающими с суши наносами, т. е. эвтрофирование — составная часть природного процесса. Как подчеркивают некоторые исследователи, по своей сущности

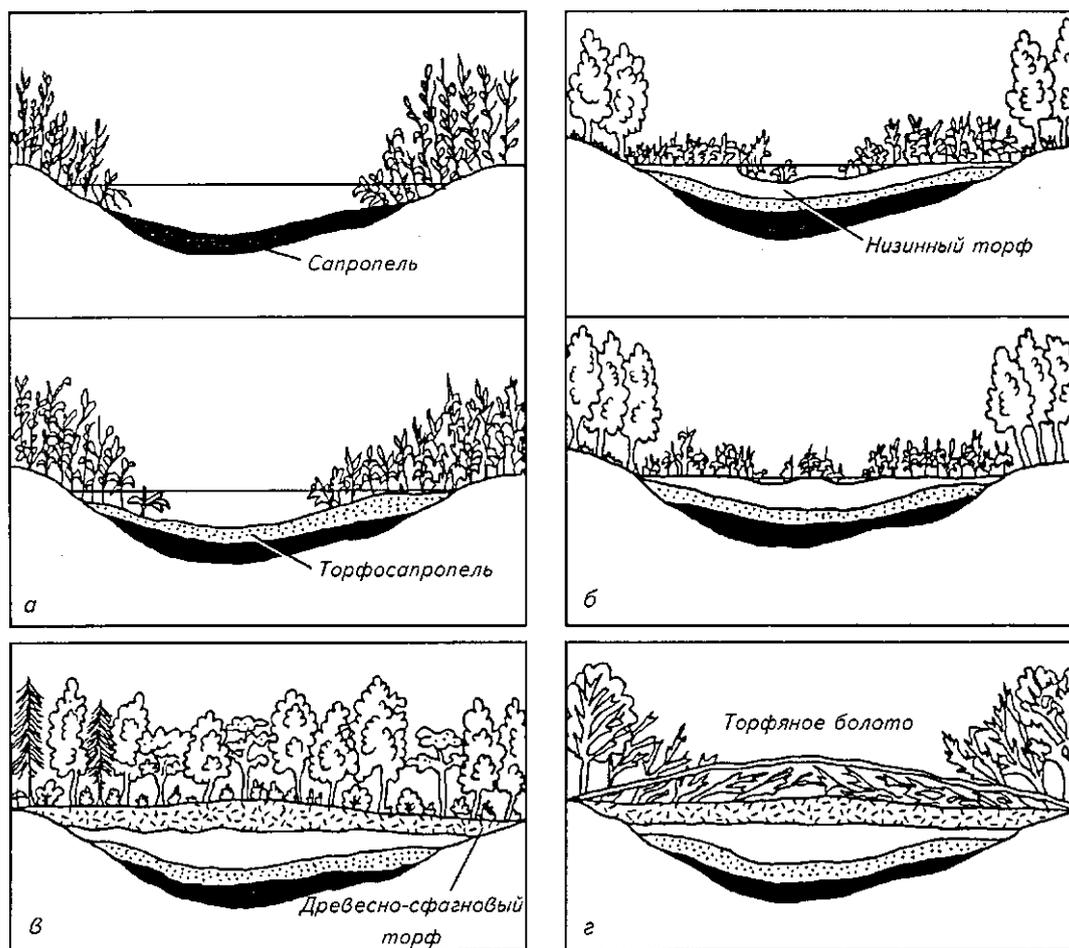


Рис. 10.1. Заболочивание эвтрофированного озера — длительный естественный процесс (Энциклопедический словарь-справочник: Окружающая среда, 1993):

а — зарастание озера; б — низинное болото; в — заболоченный лес как климаксовая стадия; г — верховое болото как климаксовая стадия

ти — это естественный процесс «старения» водоемов, проявляющийся в повышенной продукции органического вещества. Однако хозяйственная деятельность человека значительно ускоряет процесс эвтрофирования: за несколько десятилетий антропогенный фактор эвтрофирования привел к изменениям, которые в естественном ритме произошли бы в водоемах за десятки тысяч лет. Этому способствовало строительство каскадов ГЭС и водохранилищ, рекреационные мероприятия, судоходство, сбросы промышленных, коммунально-бытовых и живот-

новодческих сточных вод, ливневые стоки селитебных территорий и т. д. (рис. 10.3).

Наиболее быстро процесс антропогенного эвтрофирования развивается в водоемах, площади водосборов которых осваиваются сельскохозяйственным производством. Факторы интенсификации растениеводства и животноводства (механизация, мелиорация и особенно химизация и промышленное производство) стали мощным ускорителем процесса эвтрофирования вод.

Основной составляющей биосферы являются органогены (водород, углерод

и кислород), которые связаны между собой биологическими и геологическими циклами; повсеместное распространение этих элементов не может ограничивать развитие как биосферы в целом, так и ее квазиприродных (почти природных) единиц — агроэкосистем. Элементы, также необходимые для жизнедеятельности организмов, объединены в группу биогенных (биофильных), важнейшие из которых — азот, фосфор, калий, кальций, натрий, сера, магний и др. Недостаток биогенов снижает плодородие почв и становится причиной нарушения нормального функционирования агроэкосистемы.

В то же время биогены, участвуя в различных геохимических и биохимических циклах, поступают в водные объекты, причем наиболее значимые для биологической наземной продуктивности (фосфор, азот, калий) становятся в них лимитирующими, т. е. приобретают ограничивающие свойства,

что особенно важно для водных ресурсов, используемых для водоснабжения населения, животноводческих ферм, рыбоводства и т. д.

Результаты проведенных исследований показали, что изменение состояния вод обусловлено не только внешним поступлением в них биогенных элементов, но и внутренними процессами, вызванными изменением экологического равновесия в водоеме. Нарушение равновесия ведет к дисбалансу между уровнями первичной и вторичной биологической продуктивности. Происходит накопление автотрофных гидробионтов, в результате которого в водоеме производится в десятки и сотни раз больше органического вещества, чем попадает вследствие хозяйственной деятельности. Таким образом, антропогенное поступление биогенов — это этап в развитии эвтрофирования водоемов, к которому в дальнейшем подключаются внутренние биологические процессы,

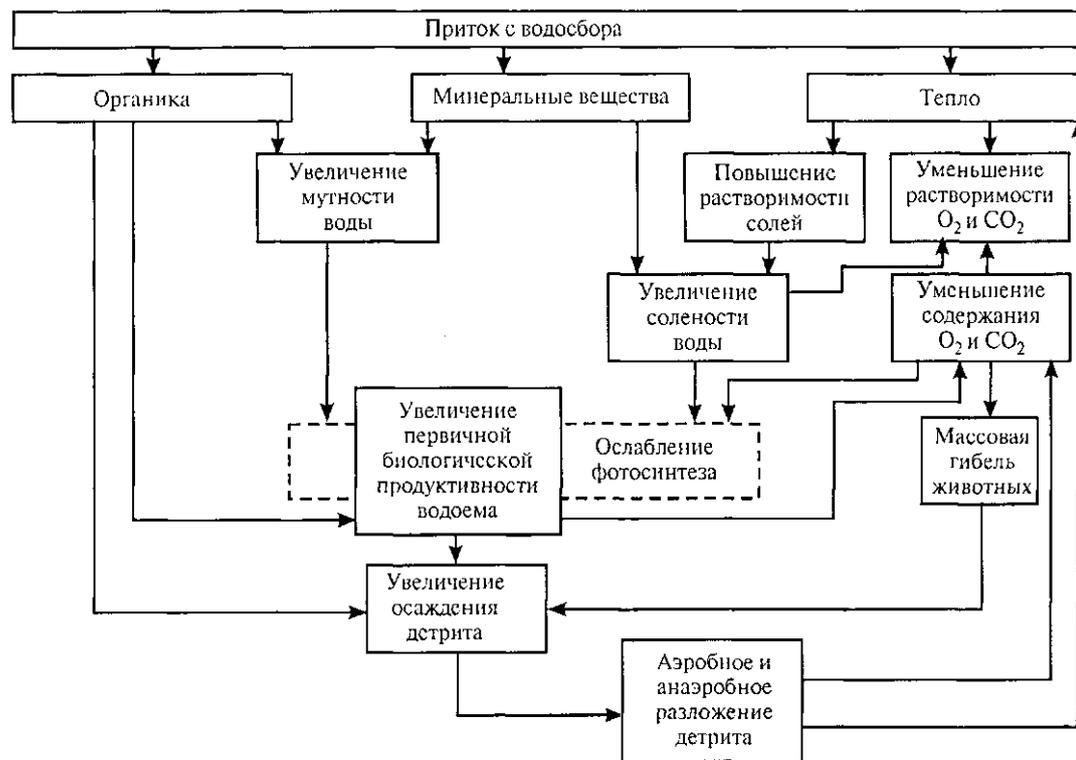


Рис. 10.2. Обобщенная схема механизма эвтрофирования (Хрисанов, Осипов, 1993)

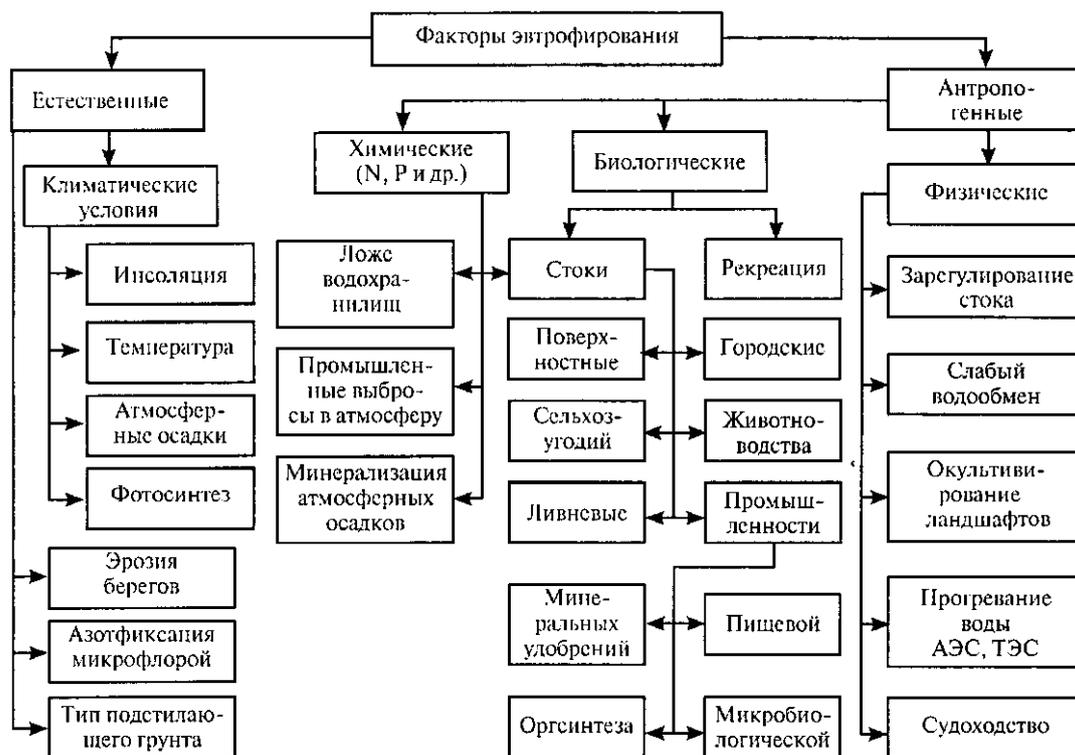


Рис. 10.3. Факторы эвтрофирования водоемов (Григорьева, 1985)

ведущие к интенсивному накоплению органических веществ в воде, т. е. к самозагрязнению.

Изучение и описание экологических процессов, происходящих внутри водоемов, позволили разработать ряд моделей эвтрофирования озер и водохранилищ при различных путях поступления биогенов. В одних водоемах (и таких большинство) основной причиной эвтрофирования является поступление биогенов с водосборной площади (внешняя биогенная нагрузка), в других — выделение их из донных отложений (внутренняя биогенная нагрузка).

Явным признаком эвтрофирования как процесса нарушения экологического равновесия водоема следует считать изменение соотношения между двумя жизненными формами водных растений: бентосной и фитопланктонной.

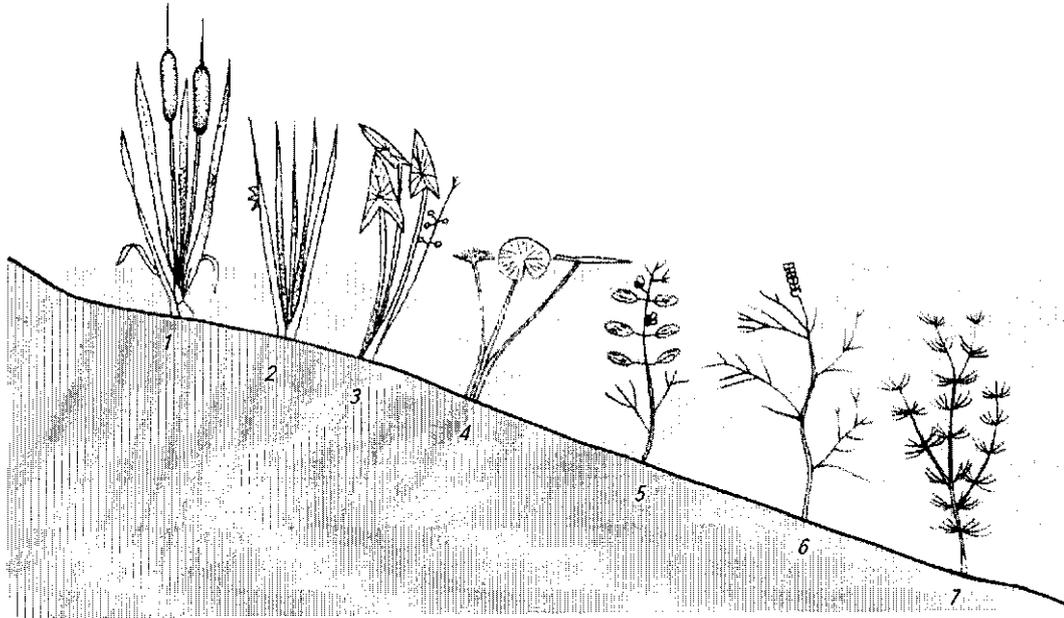
Бентосные (от греч. *benthos* — глубина) растения развиваются, прикрепившись или укоренившись на дне; это погруженная водная растительность, кото-

рая получает необходимые элементы из донных отложений и из воды, что способствует самоочищению водоема (табл. 10.1, рис. 10.4).

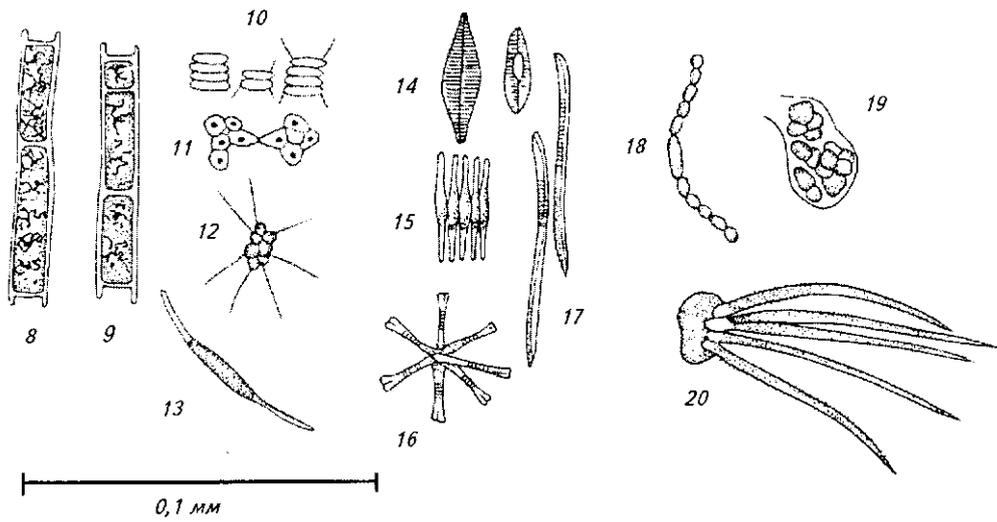
10.1. Химические элементы, аккумулируемые водными растениями

Растение	Орган растения	Химический элемент
Тростник обыкновенный	Листья	N, K, Cl, Si, Ca, Mg, Mn
Рогоз узколистный	»	N, Ca, Cl, K, P, Mg, Mn, Na
Камыш озерный	Стебли	N, K, Cl, P, Na, Mg, Mn
Сусак зонтичный	Листья	K, N, Cl, Ca, P, Na, Mg, Mn
Частуха подорожниковая	»	N, K, Ca, Cl, P, Na, Mg, Mn
Рдест пронзеннолистный	Стебли	K, Ca, Cl, N, P, Mg, Si, Mn

Основное условие устойчивого фотосинтеза бентосных растений — проникновение сквозь толщу воды достаточного количества света, что находится в прямой зависимости от второй жизненной формы растений водоема — фито-



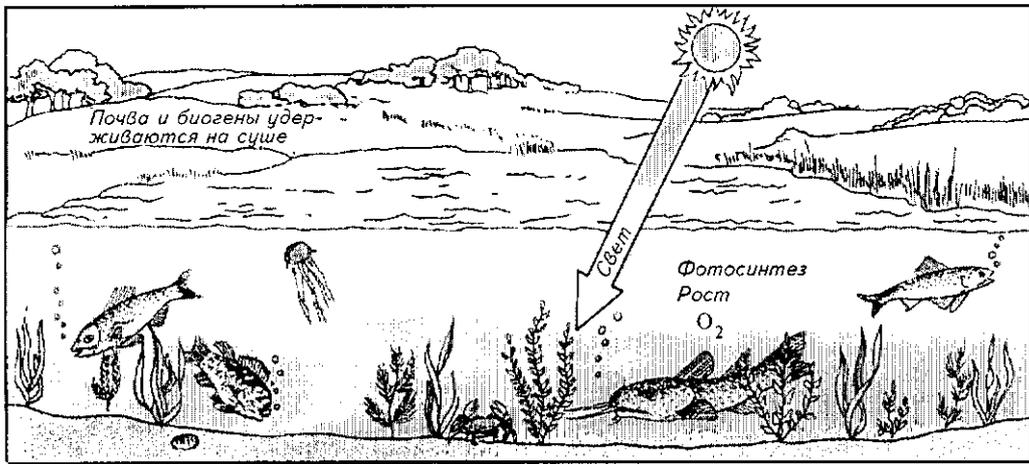
a



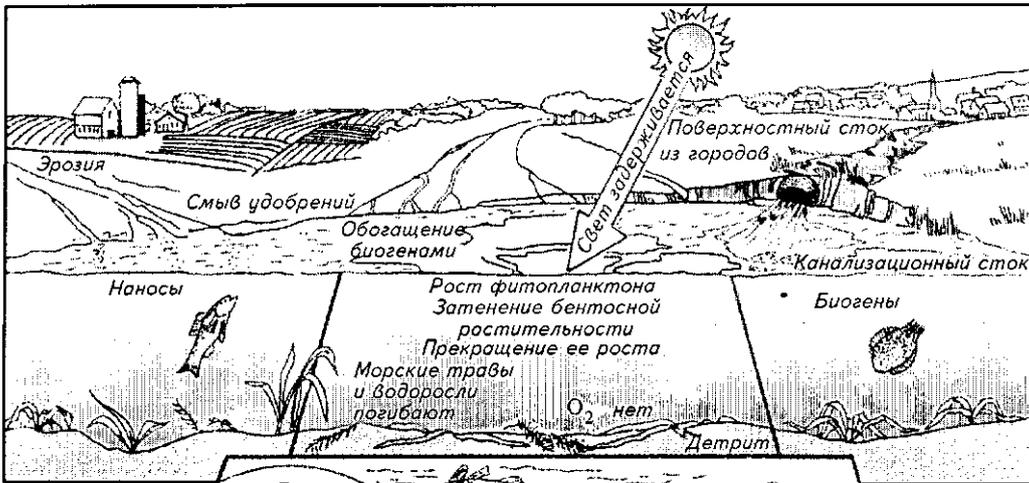
б

Рис. 10.4. Основные виды водной растительности:

a — растения, укореняющиеся на дне: 1 — рогоз; 2 — ситник; 3 — стрелолист; 4 — кувшинка; 5, 6 — рдесты; 7 — харовые; б — свободно плавающие водоросли: 8, 9 — нитчатые зеленые; 10...13 — зеленые; 14...17 — диатомеи; 18...20 — сине-зеленые (Небел, 1993)



а



б



в

Рис. 10.5. Процесс эвтрофирования и его экологические последствия (Небел, 1993)

планктона (от греч. phyto — растение и planktos — блуждающий), который представлен множеством видов водорослей (отдельные клетки, их скопления, или «нити», которые держатся либо на поверхности воды, либо вблизи от нее). При высокой численности фитопланктона вода становится мутной, а ее цвет темно-зеленым (цветение воды), в результате поглощается практически весь солнечный свет и бентосные растения могут развиваться только на мелководье, когда часть их выступает над поверхностью воды. При этом глубоководные части водоемов лишаются поступления растворенного кислорода (рис. 10.5 и 10.6).

Особенностью фитопланктона является поглощение биогенов из воды. Кислород, выделяемый им в процессе фотосинтеза, перенасыщает верхний слой воды и улетучивается с ее поверхности в атмосферу.

Озера, подверженные эвтрофикации, иногда называют мертвыми, но с биологической точки зрения это непра-

вильно, поскольку общая биопродуктивность фитопланктона может значительно превышать аналогичный показатель бентосной растительности. Планктоном иногда питаются крупные популяции некоторых рыб, избегающих глубоких, обедненных кислородом слоев воды. Следующим процессом нарушения равновесия в водоеме является отмирание фитопланктона, ведущее к накоплению на глубине огромного количества детрита. Как наиболее легкоминерализуемая часть органического вещества, он служит источником питания и энергии для микроорганизмов. Питающиеся детритом редуценты, в основном бактерии, как и другие обитатели водоема, потребляют в процессе дыхания кислород, сокращая таким образом до критического его содержания в воде, что проявляется как замор обитающих на глубине рыб и других представителей животного мира водоема. Бактерии же в таких условиях выживают, продолжая разложения детрита на биогенные составляющие за счет анаэ-

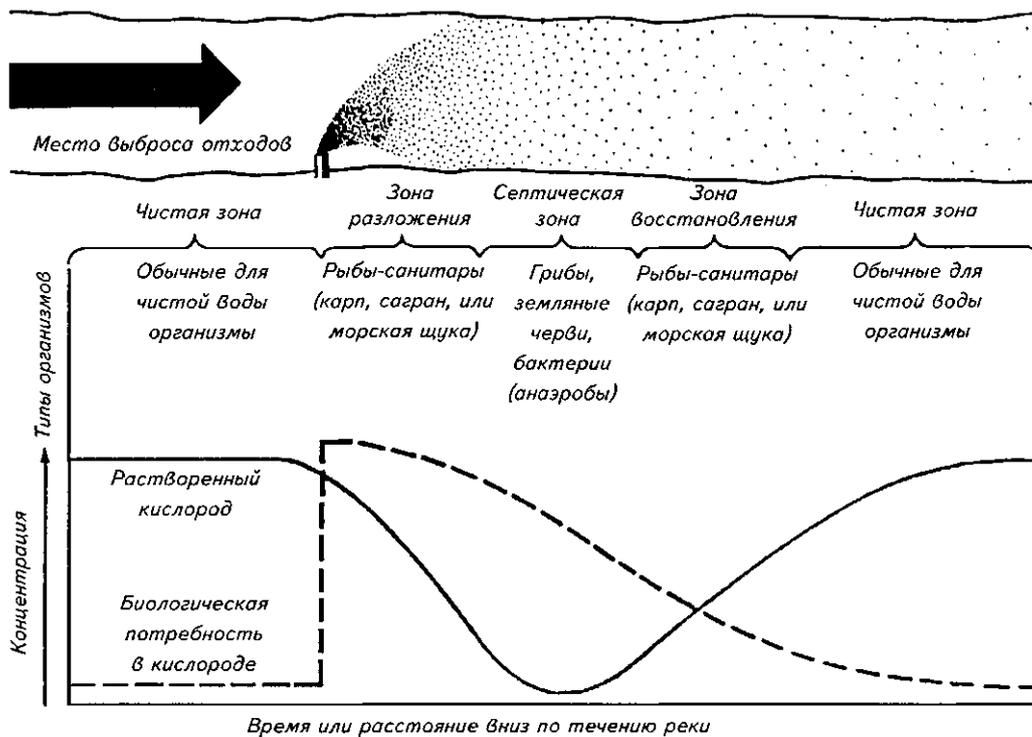


Рис. 10.6. Процесс самоочищения рек (Миллер, 1993)

робного брожения. Конвекционные потоки возвращают биогены к поверхности, что обеспечивает постоянный внутренний источник питания фитопланктона. Ослабление процесса нарастающего эвтрофирования происходит при резком сокращении поступления биогенов извне и снижении температуры до уровня, не достигающего оптимального для преобладающих видов водорослей. Так, установлено, что при средней температуре воды ниже 11 °С ее цветение маловероятно. Поэтому неудивительно, что в водохранилищах Дона и Днепра происходит интенсивное эвтрофирование: здесь цветет около 90 % акватории; в Волжском каскаде этот процесс также сопровождается интенсивным цветением, охватывая свыше 70 % акватории Волги, а в сибирских водохранилищах, которые также подвержены процессам эвтрофирования, цветение сдерживается более низкими температурами воды.

Оценка распространения биогенных веществ в водном объекте может быть проведена на основе определения удельной (по объему) биогенной нагрузки (Н) на водоем по следующей формуле:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ni}}{V}, \text{ кг/м}^3,$$

где W_{ni} — суммарное поступление биогенных веществ от n источников; V — объем воды в водоеме, м³.

По удельным показателям биогенной нагрузки составляют территориальную характеристику степени опасности антропогенного поступления биогенных веществ в водные объекты. Основную сложность при этом представляет оценка суммарного поступления биогенных веществ ($\sum W_{ni}$). Для определения этого показателя предложено множество подходов, разработаны различные модели, описывающие поведение биогенных веществ в пределах водосборов с количественной оценкой их поступления от различных источников. Задача несколько упрощается, если каждый фактор — участник биогенной нагрузки на площади данного водосбора рассматривать отдельно. Если в качестве такого фактора выбрать воздей-

ствии сельскохозяйственного производства, то удельную биогенную нагрузку ($H_{с.-х}$) можно определить по формуле

$$H_{с.-х} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n W_{ij}}{L}, \text{ кг/км},$$

где $\sum W_{ij}$ — суммарный вынос i -го биогенного вещества с отдельных сельскохозяйственных угодий j с учетом потерь удобрений; L — длина сопредельного участка реки, к которому примыкает данное угодье.

Анализ удельных показателей биогенной нагрузки позволяет установить особенности сельскохозяйственного производства в бассейне и биогенного загрязнения как всего водотока, так и отдельных его частей.

Косвенным показателем интенсивности выноса биогенных веществ в водоемы является удельная сельскохозяйственная нагрузка ($q_{уд}$), определяемая как отношение площади сельскохозяйственных угодий к длине сопряженного участка водного объекта:

$$q_{уд} = \frac{S}{L}, \text{ га/км длины водотока},$$

где S — фактическая площадь угодья, га; L — длина участка водоприемника, км.

Для определения биогенной нагрузки на водные объекты зарубежными и отечественными исследователями предложены различные методы расчета, в том числе и на основе оценки выноса биогенных веществ с аграрных территорий.

В Гидрохимическом институте Роскомгидромета на основании результатов полевых наблюдений разработано око-

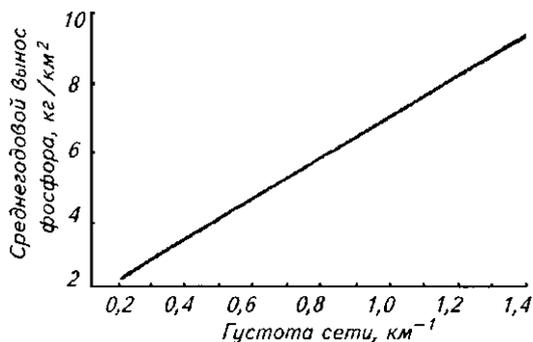


Рис. 10.7. Зависимость среднегодового выноса фосфора от густоты гидрографической сети залесенных водосборов (Хрисанов, Осипов, 1993)

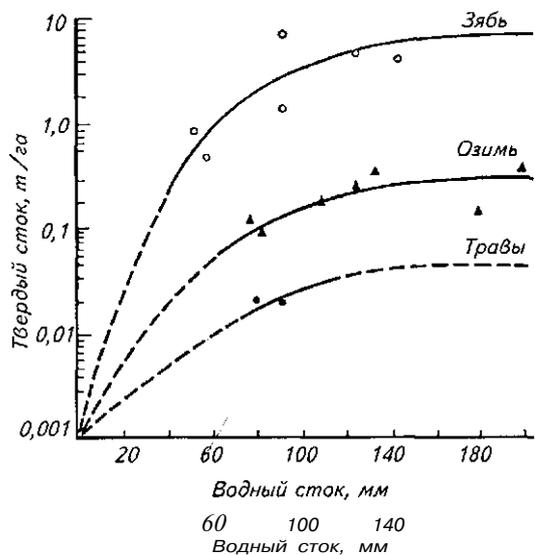


Рис. 10.8. Влияние поверхностного стока на твердый сток (Хрисанов, Осипов, 1993)

ло 60 частных моделей выноса азота в форме NH_4^+ и более 90 — в форме NO_2^- , а также установлены зависимости смыва NO_3^- и PO_4^{3-} с аграрных территорий. Особый интерес представляют модели прогнозирования биогенной нагрузки, ориентированные на решение оптимизационных задач с помощью методов линейного и динамического программирования.

При расчете поступления биогенных веществ от рассредоточенных источников рекомендуется рассматривать три основных комплекса: гидрологический, почвенно-эрозионный и почвенно-химический.

Гидрологический комплекс включает характеристики, отражающие зависимость выноса биогенов от поверхностного и почвенного стоков, инфильтрации, испарения, густоты гидрографической сети (рис. 10.7 и 10.8), особенностей гидрологического режима, интенсивности осадков, изменчивости снеготаяния, уклонов рельефа, водно-физических свойств почв, степени покрытия водосборов растительностью и множества других факторов.

Почвенно-эрозионный комплекс включает систему характеристик, отражающих изменчивость гранулометрического состава почв (рис. 10.9), их физических свойств и различных зон накопления биогенных веществ (поверх-

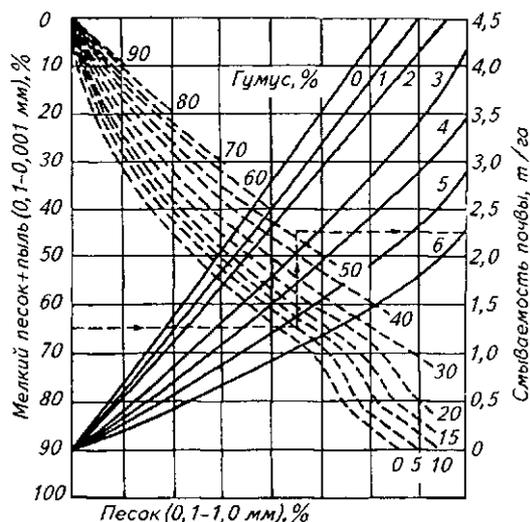


Рис. 10.9. Зависимость смываемости почв от содержания в них гумуса и песка (Хрисанов, Осипов, 1993)

ностной, верхней, нижней и зоны грунтовых вод). Многочисленные исследования миграции загрязняющих почву веществ по вертикали позволили детально выявить особенности распространения биогенных веществ в реальных условиях. Имеются также уравнения для расчета транспорта выносов с поверхностным стоком.

Почвенно-химический комплекс включает характеристики, учитывающие трансформацию загрязняющих и биогенных веществ в ходе их миграции (рис. 10.10).

Анализ существующих подходов к определению выноса биогенных веществ в водные объекты показывает, что рассмотренные модели не могут быть использованы для прогнозирования и оптимизации биогенного загрязнения вод на этапе проектирования, так как для этих целей необходимы общие данные об экологическом состоянии изучаемых систем, получаемые на основе укрупненных показателей как в пространстве, так и во времени (месяц, сезон, год). Расчеты основываются на большом числе данных (начальная концентрация вещества в стоке, интенсивность поверхностного стока, концентрация вещества в потоке, количество биогенных веществ в пахотном слое почвы, слой поверхностного стока за расчетный интервал времени, глуби-

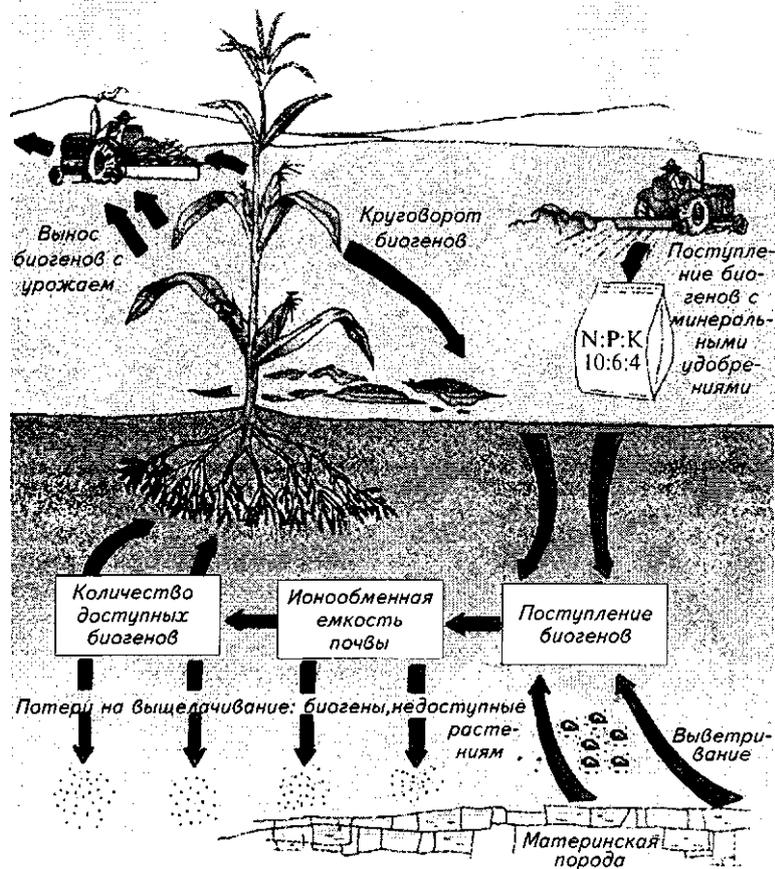


Рис. 10.10. Отношения в системе растения — почва — биогены (Небел, 1993)

на пахотного слоя и его активной зоны, полная влагоемкость почвы и т. д.).

Для ориентировочной оценки поверхностного сноса и выноса биогенных веществ из почвы рекомендуется агрохимический подход, основанный на зависимости их потерь от процессов вымывания и выщелачивания, а также от выноса с урожаем.

10.2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОД

Проблема биогенного насыщения вод приобретает глобальный характер из-за негативных последствий его проявления. Для всестороннего изучения

этого процесса, выявления особенностей его развития в континентальных (поверхностных и подземных), морских и океанических водах по программам Международной комиссии по эвтрофированию ведутся систематические наблюдения, проводятся регулярные обследования рек, озер, водохранилищ, морских акваторий. Например, в США, Канаде и странах Западной Европы проведена инвентаризация водных объектов по уровню трофности. Установлено, что в контексте повышения биологической продуктивности водоемов эвтрофирование можно рассматривать до определенных пределов как положительный процесс. Важно объективно оценить пределы безопасного присутствия биогенных элементов в водоеме.

По трофности различают 5 типов водоемов, которые можно расположить по возрастанию этого показателя в следующем порядке:

1) дистрофные (*dys* — нарушение) — с плохо развитой растительностью и высоким содержанием гумусовых кислот;

2) олиготрофные (*oligos* — мало) — с низкой продуктивностью (глубокие озера) (рис. 10.11);

3) мезотрофные (*mesos* — средний) — с оптимальным состоянием в теплый период года;

4) эвтрофные (*eu* — хорошо, усиленно) — с высоким поступлением биогенов (рис. 10.12);

5) гипертрофные (*gyreg* — чрезмерное превышение нормы) — с катастрофически высоким поступлением биогенов.

Наиболее распространенным проявлением эвтрофирования водоемов является цветение воды. Оно свойственно всем гипертрофным водоемам и обусловлено массовым развитием синезеленых водорослей. Этот процесс как явное последствие эвтрофирования вод интенсивно изучается гидробиологами, гидрохимиками, токсикологами, альгологами. Ниже приведена характеристика четырех стадий цветения воды.

Стадия цветения воды	Количество биомассы фитопланктона, г/м ³ воды
1. Отсутствие цветения	Менее 2,5
2. Начальное цветение	От 2,5 до 10
3. Умеренное цветение	От 10 до 100
4. Интенсивное цветение	От 100 до 500

Первая и вторая стадии благоприятны для экосистем водоема; третья допустима; четвертая опасна, так как цветение вызывает изменение свойств воды и приводит к замору рыб. На четвертой стадии происходит изменение микробных ценозов водоема; при этом меняются биологические, физико-химические и органолептические показатели воды, что приводит к возрастанию риска заболеваемости людей.

Уровень эвтрофирования водоемов можно также оценить по содержанию в планктоне хлорофилла, мкг/л: олиготрофное состояние — 0,1...1, мезотрофное — 1...10, эвтрофное — свыше 10.

Как последствие эвтрофирования вод вероятно полная утрата водоемом хозяйственного и биогеоценотического значения (рис. 10.13).

Процессы эвтрофирования стимулируют возникновение ряда специфических заболеваний. Например, у рыбаков после повышенной физической нагрузки и переохлаждения отмечают болезнь, которая характеризуется следующими симптомами: появляется острая мышечная боль; затрудняется дыхание; моча становится бурого цвета из-за распада мышечной ткани и выведения почками гемоглобина; поражаются нервная и кровеносная системы, внутренние органы; в итоге развивается паралич диафрагмы и межреберных мышц, что приводит к летальному исходу.

Изучение причин возникновения и развития этого заболевания показало, что оно связано с массовым развитием в водоемах синезеленых водорослей. Дело в том, что эти водоросли, особенно *M. aeruginosa*, обладают активной тиаминазой, которую они выделяют в среде обитания. При нахождении в воде большого количества водорослей (0,6...5 мг/л) активность тиаминазы в организме рыб повышается. Разложение тиамина приводит к гиповитаминозу, а затем и авитаминозу В₁. Использование в пищу такой рыбы вызывает отравление и ведет к хроническому гиповитаминозу. При высокой мышечной нагрузке и переохлаждении возрастает потребность в тиаmine и кислороде, что обуславливает развитие острого авитаминоза В₁. Сильный авитаминоз приводит к летальному исходу, слабый — к нарушению функций желудочно-кишечного тракта и к аллергии. Токсины синезеленых водорослей отнесены к высокотоксичным природным соединениям, которые действуют на центральную нервную систему, а также нарушают углеводный и белковый обмен.

Токсичное действие вод эвтрофированного водоема может быть также обусловлено накоплением нитратов и нитритов. В период активной жизнедеятельности и после отмирания водоросли пополняют водоем значительным количеством азотсодержащих веществ, в том числе и биологически активных аминов, которые, взаимодействуя с нитра-

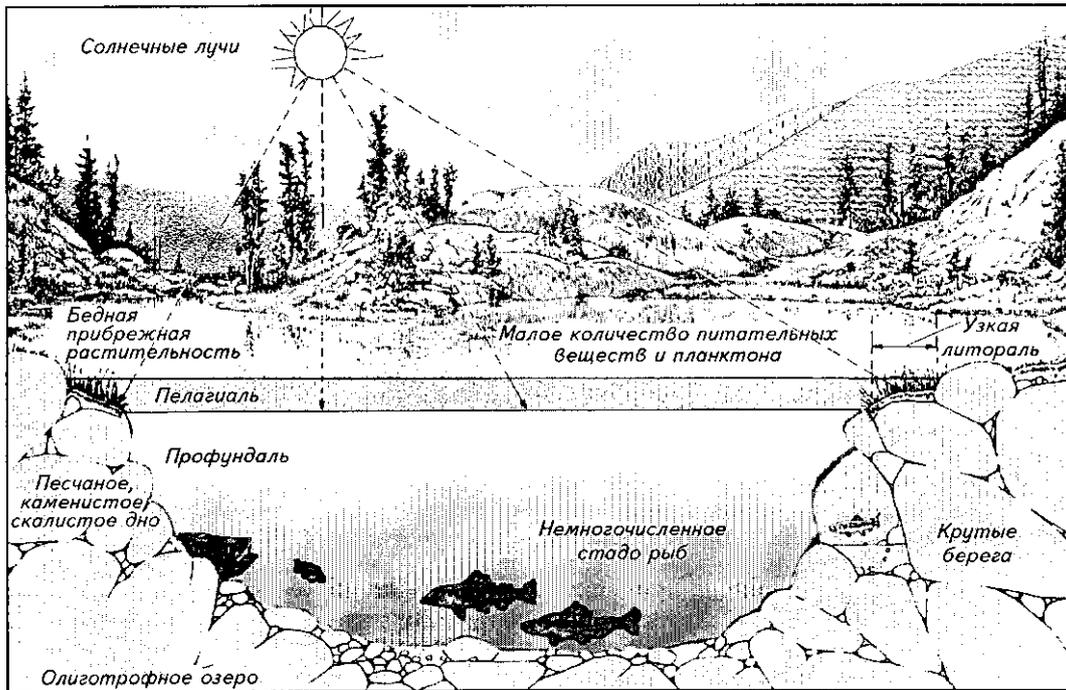


Рис. 10.11. Олиготрофное озеро (Миллер, 1993)

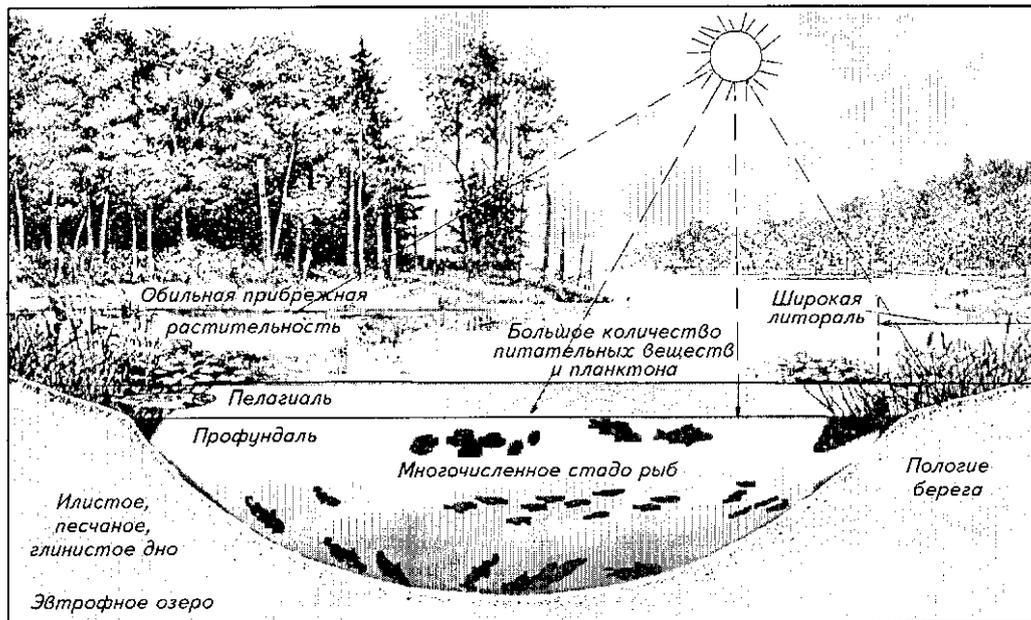


Рис. 10.12. Эвтрофное озеро (Миллер, 1993)

тами и нитритами, могут образовывать высококанцерогенные нитрозоамины.

В летние месяцы биопродуктивность фитопланктона в прибрежных зонах некоторых водохранилищ может достигать 5 кг/м^3 . На участках стога водорослевой массы создаются анаэробные условия, при которых в воду экстрагируется значительное количество различных аминов. Этот процесс усугубляется нарушением самоочистки из-за возникновения резкого дефицита кислорода, связанного с оседанием отмирающих колоний водорослей. При усилении анаэробного обмена в глубинной зоне водоема образуются метан, аммиак, сероводород.

Ведущую роль в процессе образования нитрозоаминов играют бактерии и

их ферменты, и чем выше ферментативная активность микрофлоры, тем с большей скоростью осуществляется этот процесс.

В целом нитрозоамины считаются устойчивыми соединениями, поэтому при водопользовании и водопотреблении контролируют их концентрацию в соответствии с утвержденными ПДК (например, в воде ПДК диэтилнитрозоамина составляет $0,006 \text{ мг/л}$). Величины допустимой антропогенной нагрузки водоемов биогенными веществами в существенной степени зависят от естественных условий, в которых находится данный водный объект. Так, результаты исследования фотохимического разложения нитрозоаминов при искусственном и солнечном освещении показали,

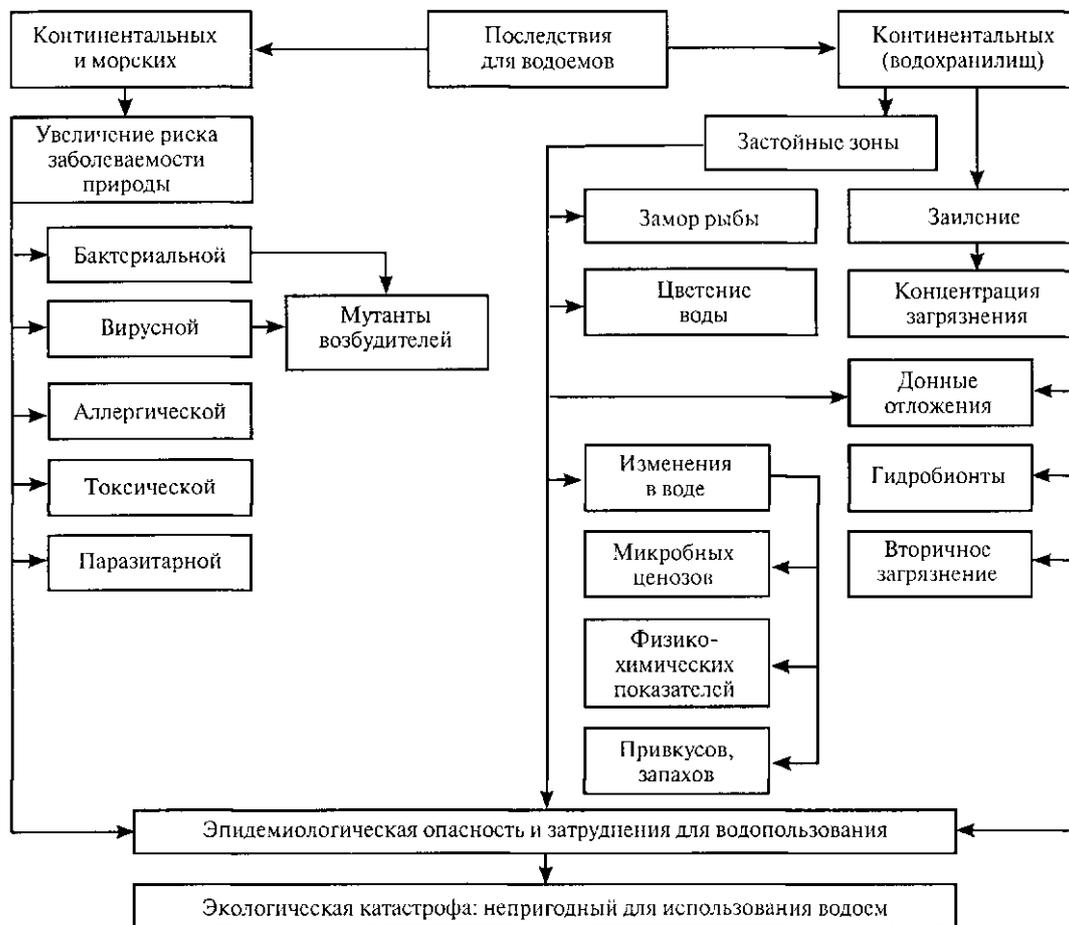


Рис. 10.13. Последствия эвтрофирования водоемов (Григорьева, 1985)

что на этот процесс могут влиять присутствие кислорода и рН воды. При оптимальных условиях полупериод разложения этих соединений в некоторых водоемах может сократиться до одного дня, в то время как полупериод их гидrolитического разложения составляет 3...11 лет, а биологического — от 15 мес до 7 лет.

Вследствие высокой динамичности процессов эвтрофирования усложняется процесс установления эвтрофного статуса водного объекта. Одним из простых способов оценки этого показателя является соответствие фактической концентрации биогенных веществ предельно допустимым (табл. 10.2).

10.2. Значения ПДК биогенных веществ, мг/л

Название вещества и его химическая формула	Хозяйственно-питьевые	Рыбохозяйственные
Нитраты (NO_3^-)	10	9,0
Аммонийный азот (NH_4^+)	2,0	0,05
Аммония:		
метаванадат (NH_4VO_3)	2	—
нитрат (NH_4NO_3)	2	0,5
перхлорат (NH_4ClO_4)	5	0,008
тиоцианат (NH_4SCN)	0,1	0,5
сульфамат ($\text{NH}_4\text{OSO}_2\text{NH}_2$)	2	—
сульфат [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]	2	1,0
хлорид (NH_4Cl)	2	1,2
дихромат [$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$]	—	0,05

Согласно единым критериям качества воды, в странах Восточной Европы для поверхностных вод первого класса, используемых для водоснабжения пищевой промышленности, коммунального хозяйства, разведения ценных пород рыб, предельно допустимое содержание аммонийного азота составляет 0,1 мг/л, нитратного — 1, общих фосфатов — 0,005 мг/л. Регламентирование биогенного насыщения вод в зависимости от развития процессов эвтрофирования является сложной задачей, поскольку существенную роль играет воздействие дополнительных факторов, таких, как проточность воды, условия ее аэрирования и т. д. Экологические нормативы по неорганическому азоту, используемые исследователями США, составляют от 0,03 до 0,1 мг/л; в Германии ПДК для нитратов в питьевой воде — 50 мг/л, а в воде для грудных детей — не более 10 мг/л. Во избежание усиленного

роста водорослей концентрация азота и фосфора в водоемах Англии ограничена значениями от 0,3 до 0,01 мг/л. В проточных водах допускаются несколько более высокие ПДК.

Роль процессов биологического самоочищения учитывают при обосновании экологических критериев. Так, по результатам многолетних исследований водохранилищ Днепровского каскада для сохранения экосистем предложены следующие предельные концентрации: азота — 0,4... 1,8 мг/л, фосфора — 0,03... 0,1 мг/л.

Следующим фактором риска при использовании эвтрофированных водоемов является изменение природных условий обитания возбудителей и переносчиков некоторых заболеваний (шистосоматоз, описторхоз, трипаносомоз), а также создание благоприятных условий для развития промежуточных форм возбудителей и переносчиков паразитарных болезней. Общеизвестно, что вода может являться фактором передачи возбудителей многих бактериальных и вирусных болезней. При эвтрофировании пресноводных и морских водоемов значение данного фактора возрастает, поскольку при этом меняются микробные ценозы и генетические свойства возбудителей инфекционных болезней людей. Среди различных заболеваний, передающихся водным путем, особое значение имеет группа кишечных инфекций бактериальной и вирусной этиологии. Для этой группы инфекций отмечено опасное увеличение фактора риска заболеваемости при эвтрофировании поверхностных вод.

Вода эвтрофированных водоемов становится опасной не только для человека и животных при прямом использовании в необработанном виде (купание, водопой животных, рыбоводство и др.), но и для водопроводных сетей. Во время нормальной работы водопроводных станций масса водорослей в очищенной воде составляет не более 0,08 мг/л. В период интенсивного развития водорослей в водоеме их масса в водопроводной воде может превышать 2 мг/л. Синезеленые водоросли обладают низкой способностью к коагуляции, в результате образуются мельчайшие, плохо оседающие хлопья. Для удаления большей час-

ти водорослей используют микрофилт-ры, что позволяет удерживать до 90 % клеток синезеленых водорослей, но при гораздо меньшей скорости фильтрования, т. е. снижается производительность водоподготовки. Однако применяемые методы не позволяют избавиться от биологически активных веществ, обладающих токсичностью. Для снижения содержания в питьевой воде токсичных продуктов обмена фитопланктона применяют очистку активированным углем, озонирование, коагуляцию повышенными дозами коагулянтов.

Установлено, что фитопланктон эвтрофированных водоемов опасен не только в период развития и активной жизнедеятельности, но также при старении и после гибели. По литературным данным, максимальная токсичность воды достигается после разрушения клеток водорослей. Этот факт имеет большое практическое значение с гигиенической и экологической точек зрения. Если токсичность воды обусловлена попаданием в нее токсинов из разрушенных клеток и не связана с водорослевым детритом и клетками, то это обстоятельство следует учитывать при разработке мероприятий, препятствующих потреблению токсикантов человеком, а также при проведении водоподготовительных мероприятий. Наиболее важно установить период максимального поступления токсинов в воду. Однако если процесс цветения можно наблюдать визуально и оценивать, используя несложную инструментальную базу, то определение токсичности этого процесса требует применения достаточно сложных методов анализа. При этом следует учитывать, что проявление максимальной токсичности зависит от конкретных условий, сложившихся в водоеме.

Токсины, образующиеся в результате жизнедеятельности и постлетального разложения биомассы синезеленых водорослей, относятся к полипептидам, обладающим высокой биологической активностью по отношению как к теплокровным организмам, так и к отдельным гидробионтам, включая микроорганизмы. Наличие в питьевой воде даже небольшого количества токсинов этих водорослей приводит к возникновению

патологических изменений в организме человека и животных. Альтотоксины оказывают влияние на многие органы и системы; степень его проявления зависит от индивидуальной чувствительности; обычно наиболее выражены изменения, происходящие в нервной системе.

10.3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Основные гидрологические изменения в различных природных комплексах произошли в исторически обозримом прошлом под влиянием расширения сельскохозяйственных площадей, что явилось мощным фактором формирования современного агроландшафта.

В целом все водные бассейны, особенно бассейны крупных рек, — это территории высокой антропогенной нагрузки. На 20 % площади суши нашей планеты проживает 90 % населения и развиваются все наиболее водоемкие отрасли хозяйственной деятельности. Площади водосбора малых водных объектов являются основной территориальной базой развития агропромышленного комплекса. Это место проживания 90 % сельского населения Российской Федерации; здесь сформировались природно-аграрные системы, что сопровождалось превращением части лесов и степей в поля, пастбища, сенокосы, сады, ягодники и плантации, которые функционируют, испытывая воздействие всех факторов интенсификации сельскохозяйственного производства.

В контексте воздействия на водные ресурсы современный аграрный сектор — это не только богарное и орошаемое земледелие, осушительные и обводнительные мелиорации, но и стойловое (промышленное) и пастбищное животноводство, агротехнические и агрохимические приемы земледелия, сфера технического и энергетического обеспечения сельскохозяйственного производства, агролесомелиоративные мероприятия и т. д. Многие исследователи признают, что интенсивно развивающееся сельское хозяйство — это наиболее активный источник поступления биогенных элементов.

Вывод Международной комиссии по эвтрофированию водоемов о том, что рассредоточенные источники играют более важную роль в загрязнении водных объектов биогенными элементами, чем городские сточные воды, подтверждают результаты, полученные в разных странах. Так, в Швейцарии более 70 % азота и 50 % фосфора поступает в водоемы с сельскохозяйственных полей; в США обнаружены высокие концентрации азота (10 мг/л) в реках, протекающих через аграрные районы; в Германии 54 % азота поступает в водоемы с сельскохозяйственных полей, 24 — с промышленным сбросом и только 22 % — с хозяйственно-бытовыми стоками.

За последние 20 лет поступление биогенных веществ с поверхностным стоком в водохранилища Волги и Днепра увеличилось в 2 раза. При этом доля сельхозугодий в поступлении общего азота составляет 70 %, минерального фосфора — 36 %. Картина преимущественного сельскохозяйственного поступления биогенов в водоемы характерна для многих крупных водных объектов, поскольку 50 % их водных масс формируется в агроландшафтах стоком малых рек, находящихся в непосредственной зависимости от состояния агросистем.

Влияние сельского хозяйства как источника поступления биогенных веществ в водные ресурсы возрастает в связи с увеличением распаханности территорий, трансформации угодий мощной техникой и гидромелиорацией, развитием процессов химизации на основе как минеральных, так и органических удобрений. Эти факторы вызывают изменение величины и направленности потоков биогенных элементов в агроландшафте. Все процессы трансформации угодий, как целенаправленные, являющиеся основными производственными действиями (пахота, боронование, окультуривание сенокосов и пастбищ, планировка земель для обработки), так и сопутствующие (последствия движения по сельхозугодьям при посеве, выращивании и уборке урожая, химической обработки полей) способствуют механическому перераспределению вещества в агроландшафте. В этом

заключается принципиальное различие промышленно-урбанизированной и сельскохозяйственной ветвей биогенной нагрузки на водные ресурсы. Первая — новая, сугубо антропогенная цепочка поступления биогенов и соответственно требует кардинальных мер по предупреждению сброса сточных вод промышленности, энергетики, транспортных предприятий и коммунально-бытового хозяйства городов в водные объекты. Во второй (сельскохозяйственной) ветви сектор промышленного животноводства имеет аналогичные особенности в связи с нарастанием концентрации поголовья и применением интенсивных технологий, а земледельческая часть является отдельно рассматриваемой системой, поскольку в ней в основном сохраняется механизм природной миграции биогенов. Однако трансформация, охватывая значительные по площади территории и разрушая естественную структуру почвенного покрова, способствует водной и ветровой эрозии, смыву и вымыванию, т. е. миграции биогенных веществ. Она становится усилителем нежелательных, экологически опасных естественных процессов, зависящих от природных факторов и особенностей: промывного режима почв, расчлененности рельефа, эрозионности, густоты гидрографической сети, скорости ветра, интенсивности снеготаяния, смываемости почв, промерзания почвенного слоя и интенсивности его оттаивания и др. Кроме того, как было показано ранее, в условиях интенсивного развития сельского хозяйства изменяется естественный цикл круговорота питательных веществ, нарушается сложившийся механизм их потоков, что особенно характерно для главных элементов, участвующих в эвтрофировании, — азота и фосфора.

Основными источниками биогенной нагрузки в пределах аграрных территорий являются сельскохозяйственные угодья (пашни, сенокосы, пастбища), объекты животноводства (помещения для содержания скота, отстойники сточных вод, навозохранилища и жижеборники), склады минеральных удобрений, сельские населенные пункты и территории садово-огородных товариществ, а также естественный расти-

тельный покров (леса, луга, болота) и атмосферные осадки (рис. 10.14). Эти источники подразделяются на *рассеянные* (диффузные, или площадные) и *точечные* (сконцентрированные в пределах ограниченного пространства).

Влияние рассеянных и точечных источников биогенной нагрузки агроэкосистем на загрязнение вод определяется следующими показателями: потери биогенных веществ в растениеводстве и животноводстве, их смыв в результате эрозионных процессов, вынос питательных веществ с коммунально-бытовыми стоками сельских населенных

пунктов, а также их поступление в природную среду с атмосферными осадками и разложившимся естественным растительным опадом.

Потери биогенных веществ в растениеводстве условно можно разделить на естественные и технологические. Первые в основном зависят от интенсивности распашки территории, приемов земледелия, количества вносимых минеральных удобрений и объема пожнивно-корневых остатков, образующихся после уборки урожая культурных растений, а вторые — от различных нарушений, происходящих во время дос-

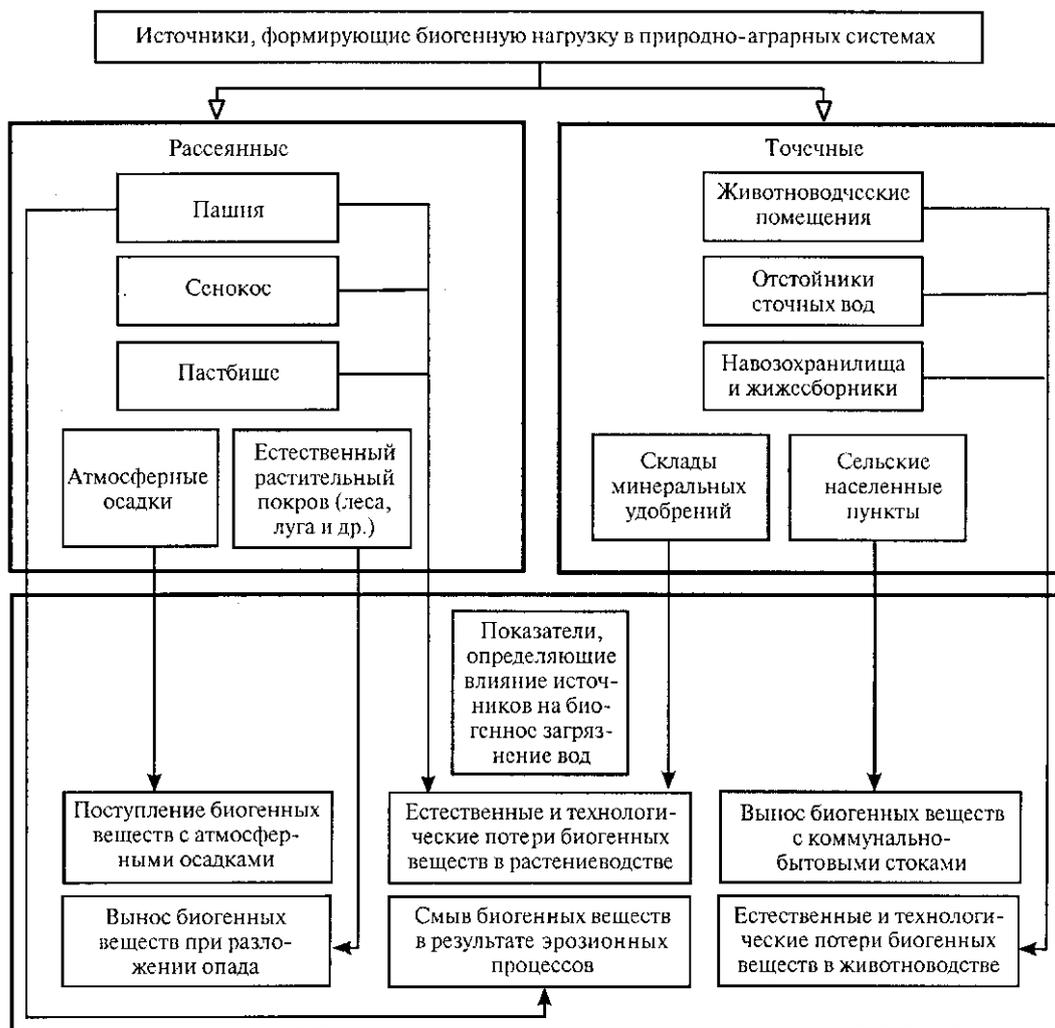


Рис. 10.14. Основные источники формирования биогенной нагрузки (Хрисанов, Осипов, 1993)

тавки и внесения удобрений на сельскохозяйственные угодья.

Растениеводство — один из значимых и сложных элементов агроэкосистем и оказывает неординарное воздействие на формирование биогенной нагрузки. Распашка территории, изменяя условия формирования водного стока, способствует активному выносу биогенных веществ в природную среду и водотоки. Распаханные почвы по сравнению с их естественными аналогами обладают совершенно иными водно-физическими свойствами. Для них характерны низкая водопроницаемость и значительный поверхностный сток. Интенсивное развитие процессов физико-механического выветривания и смыва почвообразующих пород способствует повышению минерализации поверхностных вод. В то же время растения играют значительную роль в сдерживании и снижении смыва и вымывания биогенов.

Площадь эрозионно опасных и подверженных эрозии сельскохозяйственных угодий составляет в России 124 млн га (56 % их общей площади), из них 87,3 млн га — пашни. Ежегодно около 25—30 тыс. га черноземов выводится из сферы сельскохозяйственной деятельности в результате роста оврагов. Объем поверхностного стока талых и дождевых вод с сельскохозяйственных угодий, расположенных на склонах крутизной более 6°, приближается к 90 млрд м³/год. Этот поток смывает почти 1,5 млрд т почвы. Вынос питательных веществ с этой массой почвы вдвое превышает их количество, вносимое с удобрениями. Более 26 млн га (20,4 %) пашни России находится на смываемых почвах. На многих расчлененных территориях с черноземными почвами более 50 % распаханных земель эродированы и являются мощным источником поступления биогенных веществ в водные объекты.

Дополнительный транспорт биогенов может быть связан и с агротехническими приемами. Так, осенняя подготовка почвы под яровые и пропашные культуры вместо весенней способствует уменьшению поверхностного склонового стока и в итоге приводит к сокращению выноса биогенных веществ. Одна-

ко вместе с тем зяблевая вспашка нарушает противоэрозионную устойчивость почвенного покрова и благоприятствует увеличению выноса биогенов с продуктами эрозии.

При длительном применении больших доз удобрений вынос биогенных веществ с поверхностным стоком возрастает вследствие их накопления в пахотном слое почвы. Аналогичная картина наблюдается при внесении удобрений по мерзлой почве и особенно весной по талому снегу. Это подтверждают приведенные ниже данные по выносу биогенных веществ (мг/л) с сельскохозяйственных угодий с поверхностным стоком при внесении 1 кг действующего вещества на 1 га:

Способ внесения удобрений	Азот	Фосфор
Осенью под вспашку	0,010	0,0013
Осенью поверхностно	0,085	0,0310
Осенью поверхностно по мерзлой почве	0,216	0,0510
Весной по талому снегу	0,866	0,5940

Эрозия почв, стимулируя вынос биогенных веществ с водосбора, активно влияет на биогенное загрязнение вод, в первую очередь фосфором. Вспашка, особенно зяблевая, приводит к тому, что потери фосфора с твердым стоком становятся преобладающими и достигают более 90 % его общих потерь. При этом характерно, что вынос фосфора со смываемой почвой пропорционален смыву. Масштабы влияния эрозионных процессов на биогенное загрязнение вод очень велики. Например, с каждой тонной твердого стока с 1 га сельскохозяйственных угодий выносятся около 1 кг общего фосфора (рис. 10.15).

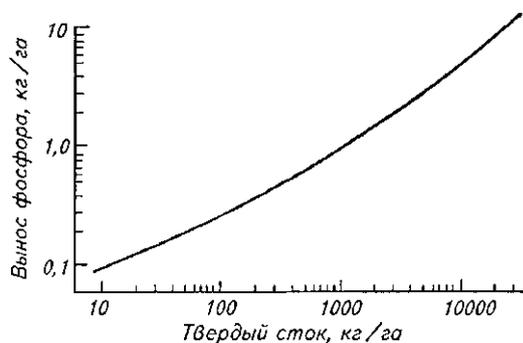


Рис. 10.15. Вынос общего фосфора в зависимости от твердого стока (Хрисанов, Осипов, 1993)

Территориальные особенности смыва биогенов хорошо прослеживаются при рассмотрении условий поверхностного смыва дождевыми водами. В этой связи на территории Нечерноземной зоны России выделяют три пояса: слабого смыва (характеризуется модулем смыва менее 0,1 т/га), умеренного (от 0,1 до 1,0 т/га) и интенсивного (более 1,0 т/га). Водоёмы Нечерноземья находятся в условиях интенсивного эвтрофирования из-за эрозионного разрушения почв.

Промывной тип водного режима, при котором количество выпадающих осадков превышает количество испаряемой из почвы влаги, является важным фактором вымывания элементов из почвы. Чем больше воды просачивается через корнеобитаемый слой почвы, тем выше потери растениями элементов питания и тем большее их количество попадает в подземные воды. Инфильтрацию атмосферных осадков в связи с процессом усиления биогенной нагрузки исследуют в различных условиях, что позволяет выявить факторы снижения интенсивности данного процесса.

В центральной части Нечерноземья в среднем выпадает около 670 мм осадков, что формирует примерно 60-миллиметровый слой почвенного стока. В таких условиях осадки в виде гравитационной влаги могут проникать в почву вплоть до грунтовых вод. Просачивание, а следовательно, и вымывание элементов зависят от многих факторов: времени года, количества осадков, их интенсивности и вида, температуры воздуха и почвы, свойств почвы, вида растений, их урожайности и степени обеспеченности удобрениями.

Наибольшее количество инфильтрационных вод образуется в ранневесенний период, когда насыщенность почвы влагой превышает полную полевую влагоемкость. Аналогичная ситуация складывается в осенне-зимний период, когда почва свободна от растительности. В поздневесенний и летний периоды основная масса выпадающих осадков расходуется на транспирацию и образование фитомассы. Эта закономерность атмосферно-почвенно-водных процессов, как и использование противоэрозионной роли растений, является основопо-

лагающей при обосновании агрохимических приемов.

Четкая связь между устойчивостью агроэкосистем и состоянием водных ресурсов выявляется и при рассмотрении инфильтрационных процессов: количество просачивающейся воды меняется в зависимости от гранулометрического состава почвы, что обусловлено различиями во влагоемкости и водоудерживающей способности. Чем выше плодородие почвы и содержание в ней гумуса, тем больше ее гигроскопичность, а следовательно, и такие показатели, как влагоемкость и водоудерживающая способность. В то же время обеспеченность растений биогенами и влагой в наиболее критические фазы развития способствует максимальному усвоению питательных веществ и снижению их вымывания, т. е. состояние растений играет достаточно важную роль в развитии процессов смыва и вымывания. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что важную роль в развитии этих процессов играет также совершенствование посевных площадей путем введения травосеяния, использования промежуточных и пожнивных культур и т. д. Пожнивные посевы в севообороте уменьшают вымывание азота на 50 %, фосфора — на 30 %; на площадях, занятых под многолетние травы, потери азота снижаются на 30–40 %.

В условиях использования интенсивных технологий в растениеводстве снижение вымывания достигается комплексом мероприятий, включающих, в частности, оптимальное внесение удобрений в периоды активного потребления биогенов растениями, применение слаборастворимых, медленнодействующих видов минеральных удобрений, использование таких их форм, которые не содержат несорбируемых почвой ионов, применение ингибиторов нитрификации, соблюдение нормативов по дозам и способам внесения удобрений, особенно жидких органических, и т. д.

Благодаря многочисленным исследованиям установлены числовые значения средних ежегодных выносов биогенов в водные источники для различных типов почв. Дерново-подзолистые и серые лесные пахотные почвы характеризуются следующими средними значени-

ями вымывания (кг/га в год): N — N⁰³ — 10...30, Ca — 140...180, Mg — 25...40, K — 10...20, P^{2O5} — 0,4...1,0, S — S⁰⁴ — 40...60. В этих показателях отражается воздействие как естественных, так и антропогенных циклов круговорота веществ, в основном регионального характера, но с определенным наложением глобального из-за поступления биогенов с атмосферными выпадениями (сухое осаждение, дожди или снегопады).

Наряду с растениеводством немаловажным источником биогенного загрязнения вод является животноводство. Степень его воздействия на водные объекты в каждом конкретном регионе определяется общим поголовьем скота, особенностями расположения животноводческих ферм и комплексов на водосборах, а также принятой в хозяйствах технологией содержания животных.

На значительной части территории России большую часть года скот находится в стойлах. Лишь в поздневесенний и летний периоды животных переводят на пастбища. Поступление загрязняющих веществ в водотоки с животноводческих ферм и комплексов зависит от способа удаления навоза. Оно происходит при прямом смыве сточных вод после очистки, а также в результате потерь, возникающих в процессе утилизации отходов животноводства.

При стойловом содержании скота накапливаются большие массы навоза. Из-за его несовершенной утилизации в водные системы выносятся немалые количества грубодисперсной малоразложившейся органики и биогенных веществ. По оценкам некоторых специалистов, потери органических отходов на фермах и комплексах составляют в среднем 20—40 % их объема. При выпасе скота на пастбищах также происходит вынос биогенных веществ в водотоки, поскольку пастбищные угодья чаще всего размещают в речных долинах. Влияние животноводства на биогенное загрязнение вод обусловлено и тем, что фермы и комплексы располагаются преимущественно в непосредственной близости от рек и озер. Поскольку продолжительность миграционного пути биогенов от их источников до водных объектов невелика, они не успевают

закрепиться в почве и их концентрация остается высокой. Управление движением биогенных веществ от источников их образования на основе рециклизации является экологически обоснованным и экономически оправданным, поскольку способствует решению проблемы повышения продуктивности агроэкосистем (табл. 10.3, см. рис. 10.16).

10.3. Содержание биогенных веществ в отходах животноводства, г/сут на 1 голову

Вид скота	Азот	Фосфор	Калий
КРС	180	87	190
Свиньи	38	16	50

Кроме того, на всех стадиях производства растениеводческой и животноводческой продукции происходят потери биогенных веществ, обусловленные различными нарушениями используемых технологий (технологические потери), что существенно увеличивает вынос биогенов в водотоки. В ряду факторов, способствующих увеличению потерь биогенов, уместно отметить следующие:

отсутствие или недостаточная емкость специальных навозохранилищ и жижесборников при фермах и комплексах, что приводит к необходимости частого вывоза навоза на поля, однако из-за нехватки транспорта это, как правило, не осуществляется;

размещение ферм и комплексов в непосредственной близости от уреза воды, что приводит к прямому выносу биогенных веществ в водотоки;

вывоз навоза на поля в зимний период (по снегу), что в условиях снеготаяния способствует интенсивному смыву биогенных веществ талыми водами;

несвоевременная перепашка вывезенных на поля удобрений, что вызывает миграцию биогенных веществ по водосбору и их смыв поверхностным стоком в ближайшие водотоки;

несовершенная технология компостирования и хранения навоза, что вызывает миграцию биогенных веществ по рельефу местности;

доставка удобрений на поля на необорудованной для этой цели технике, что приводит к их потерям по дороге от хранилищ к угодьям;

отсутствие подготовленных складов

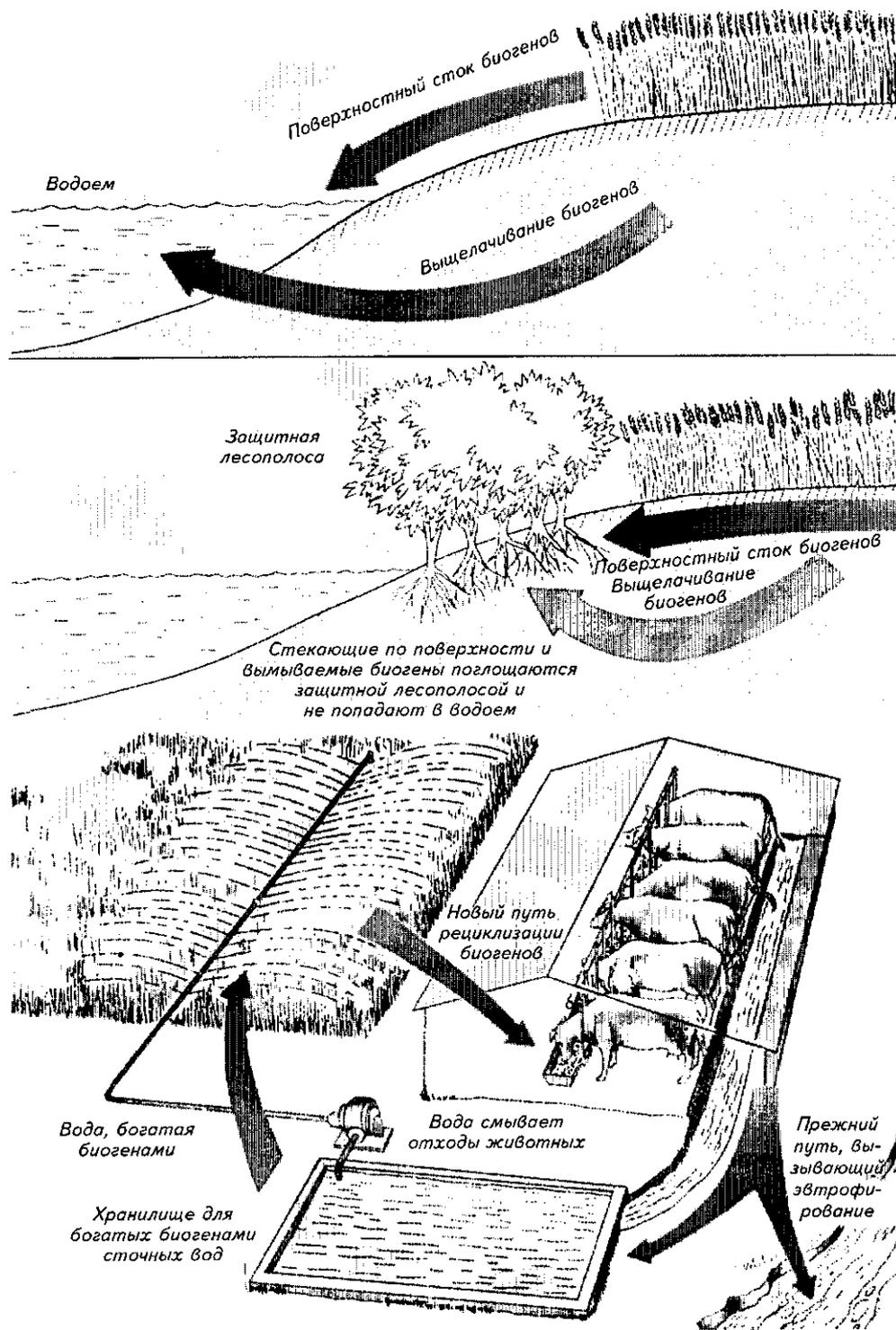


Рис. 10.16. Процесс рециклизации биогенов в агроландшафте (Небел, 1993)

для минеральных удобрений, что вызывает их потери во время хранения.

Наряду с перечисленными факторами на уровень технологических потерь влияют и физико-географические условия местности, причем их значение для различных природных зон, районов и хозяйств варьирует в широких пределах (рис. 10.17 и 10.18).

Большое влияние на процессы биогенного загрязнения вод оказывают селитебные территории. Хозяйственно-бытовые стоки сельских населенных пунктов могут выносить до 0,355 кг азота и 0,277 кг фосфора (на одного человека в год). Кроме того, с застроенных территорий дополнительно может смываться около 6,0 кг/га азота и 3,0 кг/га фосфора в год.

Сельские населенные пункты в основном не обеспечены очистными сооружениями. Кроме того, в последние годы естественные участки агроландшафтов (малопродуктивные, неудобные земли) интенсивно осваиваются городскими жителями. Во всех пригородных зонах больших и малых городов (в радиусе до 200 км и более) расширяются плотно застроенные дачные городки. И хотя они функционируют главным образом в теплый период года, изменения, вызываемые ими, наблюдаются даже без специальных исследований. Наряду с положительными эффектами облагораживания малопродуктивных участков из-за низкого уровня экологической культуры год от года, к сожалению, увеличивается захламленность лесных и пойменных земель бытовыми и строительными отходами. Необходима научно обоснованная оценка изменений (нарушений) естественного круговорота веществ в связи с периодической миграцией городских жителей и возникновением дополнительных факторов воздействия на агроландшафты. Подтверждением сказанному могут служить имеющиеся оценки суточной массы загрязнений, приходящейся на одного человека (г/сут):

Показатели	Количество
Взвешенные вещества	65,0
Азот аммонийных солей	8,0
Калий (K ²⁰)	3,0
Фосфор (P ²⁰⁵)	3,3

Хлориды	9,0
Поверхностно-активные вещества	2,5
БПК _{полн}	75,0
БПК ₅	54,0

В селах в отличие от городов сохраняются некоторые условия для закрепления биогенных элементов и хозяйственно-бытовых отходов почвами приусадебных и дачных участков. Однако нельзя не учитывать поступления биогенов с общей застроенной территории в период дождей и снеготаяния (табл. 10.4).

10.4. Вероятностный вынос биогенных веществ в водоемы с селитебных территорий агроландшафта

Источник выноса	Азот аммонийный	Фосфаты
Хозяйственно-бытовые стоки, г на 1 человека	2,62	0,76
Застроенные сельские территории, г/(га · сут)	16,44	8,22

Особенностью миграции биогенов в пределах площади водосбора водного объекта является сходимостъ потоков от рассмотренных выше основных антропогенных источников биогенной нагрузки. В снижении процессов эвтрофирования наряду с частными отраслевыми мерами (в земледелии, животноводстве) эффективны общие, приуроченные к конкретному водному объекту, такие, как создание защитных полос, водоохраных зон рек, водохранилищ и озер, санитарных зон водозаборов и т. д.

Комплексное изучение динамики биогенных веществ в природно-аграрных системах показывает, что наряду с антропогенными источниками биогенной нагрузки существенную роль играют такие факторы, как атмосферные осадки и естественный растительный покров.

Влияние естественной растительности на биогенное загрязнение вод зависит от содержания азота и фосфора в лесном опаде, которое определяется типом растительного покрова. Основная часть биогенных веществ после разложения опада поступает в почву и усваивается растительностью, а оставшаяся переносится поверхностным стоком по водосбору и поступает в водоем (табл. 10.5).

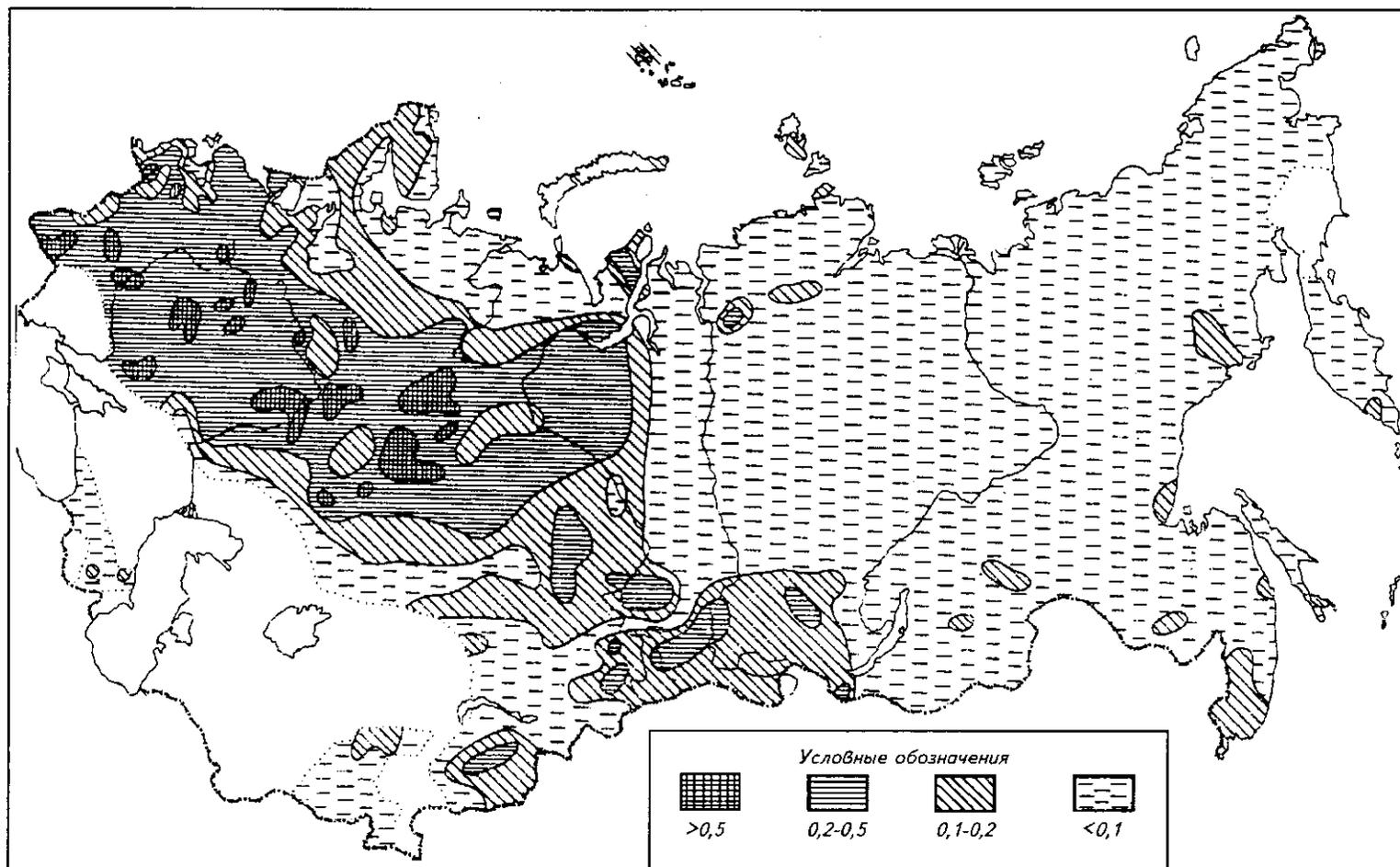


Рис. 10.17. Распределение средней годовой интенсивности выпадения нитратного азота, т азота/(км² • год). (Состояние природной среды в СССР в 1988 году: Межведомственный доклад/Под ред. В. Г. Соколовского. — М.: Лесная промышленность, 1990)

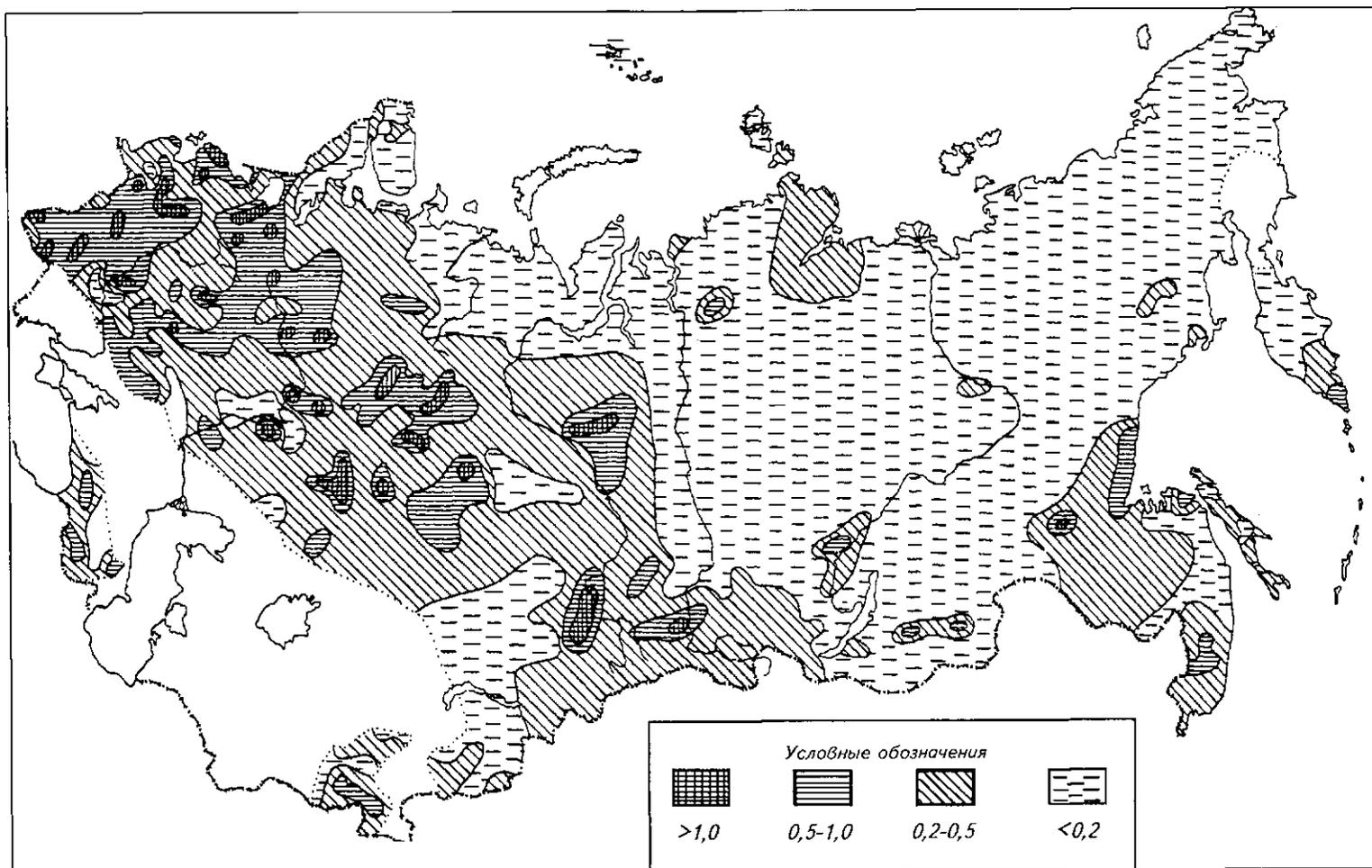


Рис. 10.18. Распределение средней годовой интенсивности выпадения аммонийного азота, т азота/(км² • год) (там же, см. рис. 10.17)

10.5. Количество азота и фосфора, поступающее в водные объекты из лесного растительного спада

Место наблюдения	Удельный вынос биогенов, кг/га	
	Азот	Фосфор
Карелия	1,8	0,06
Костромская обл.	0,5	0,03
Ленинградская обл.	1,1	0,04
Московская обл.	1,3	0,05
Новгородская обл.	1,5	0,05
Псковская обл.	2,5	0,04

Для атмосферных осадков как источника поступления биогенных веществ в природно-аграрные системы характерны следующие особенности. Выпадение жидких и твердых осадков приводит к возникновению поверхностного стока, качественный состав которого определяется как самими осадками, так и интенсивностью хозяйственной деятельности в пределах площади водосборов. Часть атмосферных осадков, минуя водосбор, выпадает непосредственно на поверхность водоемов, загрязняя их.

Поступление азота и фосфора в водные объекты из атмосферных осадков определяется в первую очередь степенью их насыщения этими веществами, которая зависит от таких факторов, как ионизация атмосферы, испарение вод, дефляция почвенного покрова, вулканическая деятельность, лесные пожары, а также антропогенное загрязнение. Большинство исследователей отмечают значительную пространственную изменчивость концентраций азота и фосфора в атмосферных осадках (табл. 10.6).

10.6. Среднегодовое поступление минеральных азота и фосфора с атмосферными осадками на земную поверхность

Место наблюдения	Азот		Фосфор	
	годы наблюдения	среднее поступление, кг/га	годы наблюдения	среднее поступление, кг/га
Калужская обл.	1971-1981	12,1	—	—
Карелия	1980-1981	3,0	1980	0,003
Ленинградская обл.	1958-1961	6,6	1975-1976	0,135
Московская обл.	1958-1981	9,5	1967-1976	0,375

Формирование биогенной нагрузки претерпевает определенное корректирующее воздействие за счет природных

и антропогенных факторов, активизирующих или тормозящих миграционные процессы. Наиболее сильное влияние оказывает состояние почв. Известно, что под естественной растительностью вынос биогенных веществ осуществляется как поверхностным, так и почвенным стоком. Однако после окультуривания почв поверхностный сток становится преобладающим. Установлено, что при переходе от тяжелых почв к более легким относительное влияние характера угодий на сток возрастает. Наименьший сток с сельхозугодий наблюдается на зяби (табл. 10.7). С увеличением стока возрастает и вынос в водотоки биогенных веществ, причем на малых водосборах это проявляется более отчетливо, чем на водосборах площадью более 2 км².

10.7. Коэффициенты поверхностного стока в зависимости от вида угодий и гранулометрического состава почв

Угодья и агротехнический фон	Почвы		
	суглинистые	супесчаные	песчаные
Лес	0,19	0,03	0,01
Зябрь	0,39	0,23	0,10
Залежь	0,53	0,33	0,20
Многолетние травы	0,59	—	—
Стерня	0,77	0,39	—
Озимь	0,78	—	—

В Нечерноземной зоне важную роль в сдерживании миграции биогенных веществ играет почвенный покров. Так, для широко распространенных в данном регионе дерново-подзолистых почв характерна высокая поглотительная способность фосфат-ионов, что обусловлено наличием в этих почвах полуторных оксидов. Они адсорбируют также анион $H_2PO_4^-$ и катионы NH_4^+ , K^+ и Ca^{2+} . Необратимая фиксация фосфора в таких почвах иногда достигает от 500 до 1800 мг P_{205} на 1 кг почвы.

Пахотный и подпахотный горизонты почв способны поглощать практически неограниченное количество фосфора и предотвращать его последующее выщелачивание.

К основным факторам, определяющим масштабы вымывания биогенов из почв различных генетических типов, относят степень ее окультуренности и на-

сыщенности основаниями; наличие динамического равновесия между минеральным и органическим азотом, которое обусловлено противоположными процессами — аккумуляцией и минерализацией этого элемента; уравнивание питательного режима почв благодаря поддержанию на постоянном уровне соотношения N : P : K; порозность, минералогический и гранулометрический составы; степень микробиологической активности.

Существенное влияние на миграционные процессы оказывает лесная растительность (рис. 10.19). Сток с водосбора, залесенность которого составляет 64 %, в 2,7 раза меньше, чем с необлесенного, а вынос фосфора — в 10 раз. Лесные полосы шириной 10 м перехватывают (адсорбируют) 32 % фосфора, а при переводе поверхностного стока в почвенный концентрация в нем фосфора снижается на 66 %. Аналогичная зависимость наблюдается и для азота. Например, в лесных полосах шириной около 20 м содержание нитратного азота в стоке на 15...39 %, а аммонийного на 20...25 % ниже, чем в стоке с необлесенной территории. Защитные полосы из хвойных пород в 2,5 раза эффективнее, чем из лиственных.

В формировании выноса биогенных веществ большую роль играет не только степень залесенности водосборов, но и топография участков леса в пределах водосбора, поскольку на миграционные процессы влияют не все лесные массивы, а лишь те, через которые проходит значительная часть стока. В таблице 10.8 приведены данные по изменению концентрации фосфора на водосборах в зависимости от характера распределения на них растительности.

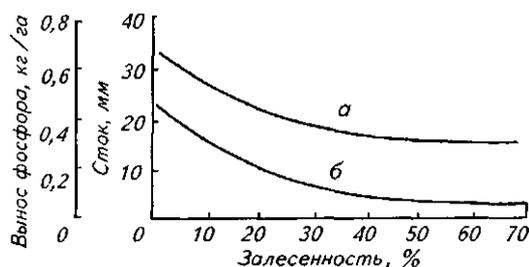


Рис. 10.19. Зависимость стока (а) и выноса фосфора в водные объекты (б) от залесенности водосбора (Хрисанов, Осипов, 1993)

10.8. Среднегодовая концентрация фосфора на водосборах с различным распределением лесной растительности

Характер распределения лесной растительности по водосбору	Концентрация фосфора, мг/л
Полностью залесенный водосбор	0,01
Занесение равномерное по всей площади	0,06
Залесение в верхней части водосбора	0,10
Залесение по оврагам и балкам	0,10
Водосбор полностью полевой	0,14

Кроме леса на миграцию биогенных веществ оказывают влияние и другие условия. Например, культурный луг (канареечник, мятлик) шириной 500 м снижает концентрацию растворенного фосфора в проходящем по нему стоку в 28 раз.

Таким образом, чем больше поверхностные воды соприкасаются с нераспаханными угодьями, тем меньше биогенных веществ выносятся ими в водные объекты; это, несомненно, принимается во внимание при научно обоснованном формировании водоохранных зон.

10.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Биогенные элементы поступают в гидрографическую сеть от точечных и площадных источников, расположенных в прибровочных зонах (до 500 м) ложбин, лощин и балок или в водоохранных зонах рек.

Расчет выноса биогенов с сельскохозяйственных угодий (площадные источники) проводят на основе известных агрохимических зависимостей, связывающих количество выносимых веществ со свойствами почв, видами и урожайностью сельскохозяйственных культур.

Расчетное уравнение для определения выноса биогенов из почвы основывается на урожайности сельскохозяйственных культур как на интегральном показателе состояния нескольких базовых факторов (почва, метеорологические условия, продолжительность вегетационного периода, количество применяемых удобрений, способы их внесения и др.).

Удельный вынос биогенов с площади, занятой i -й сельскохозяйственной культурой определяют по формуле

$$R_i = \alpha_N k_N y_i + \alpha_P k_P y_i + \alpha_K k_K y_i, \quad (1)$$

где α_N , α_P и α_K — соответственно коэффициенты выноса азота, фосфора и калия для различных почвенных условий и сельскохозяйственных культур (табл. 10.9); k^i — вынос биогенов с урожаем i -й сельскохозяйственной культуры, кг/т (табл. 10.10); y^i — фактическая урожайность i -й сельскохозяйственной культуры, т/га.

Соответственно суммарный вынос биогенных веществ с водоохранной зоны реки или другого водного объекта

определяют по формуле

$$\Sigma W_{\text{пл}} = \sum_{i=1}^n R_i S_i, \quad (2)$$

где $\Sigma W_{\text{пл}}$ — суммарный вынос биогенов с площади водоохранной зоны, кг/год; R^i — удельный вынос биогенов с площади, занятой i -й сельскохозяйственной культурой; n — количество сельскохозяйственных культур на площади водоохранной зоны; S^i — площадь, занятая i -й сельскохозяйственной культурой, га.

При расчетах используют прогнозируемое значение урожайности i -й культуры y^i . Площадь, занятую i -й культурой, определяют по фактическим данным хозяйства о структуре посевов в водоохранной зоне реки.

10.9. Коэффициенты выноса биогенных веществ

Культура	Почвы	%	α_p	α_k
Озимая пшеница	Дерново-подзолистые, серые лесные, черноземы оподзоленные и выщелоченные, черноземы обыкновенные	0,16	0,12	0,07
		0,11...0,12	0,10...0,11	0,01...0,07
Озимая рожь	Дерново-подзолистые, черноземы оподзоленные и выщелоченные	0,28	0,11	0,36
Яровые зерновые (колосовые)	Все почвы	0,12...0,48	0,04...0,12	0,12...0,41
Картофель	Дерново-подзолистые, серые лесные, черноземы оподзоленные и выщелоченные	0,21...0,30	0,17...0,19	0,32...0,33
Многолетние травы	Все почвы	0,13	0,12	0,21
		0,50...0,61	0,15...0,25	0,25...0,60

10.10. Вынос биогенов из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур, кг/т

Культура	Почвы	N	p2O5	K2O
Озимая пшеница	Дерново-подзолистые	34,0	9,0	20,0
	Серые лесные, черноземы оподзоленные и выщелоченные	32,4	12,0	25,6
	Черноземы обыкновенные	29,0	10,0	27,0
	Каштановые	33,0	10,0	25,0
Озимая рожь	Дерново-подзолистые	24,5	12,0	26,0
	Серые лесные, черноземы оподзоленные и выщелоченные	32,6	12,6	27,0
	Черноземы обыкновенные			
Яровая пшеница	Дерново-подзолистые	33,0	14,0	26,0
	Серые лесные, черноземы оподзоленные и выщелоченные	37,0	11,0	23,0
	Черноземы обыкновенные	40,0	11,0	23,0
	Каштановые	42,0	10,0	32,0
Яровой ячмень	Дерново-подзолистые	26,0	10,4	17,0
	Серые лесные, черноземы оподзоленные и выщелоченные	24,0	12,0	18,0
	Черноземы обыкновенные			
Картофель	Дерново-подзолистые	30,4	11,4	22,0
	Серые лесные, черноземы оподзоленные и выщелоченные	5,0	1,5	7,0
		2,0	1,4	2,5
Кормовые культуры и многолетние травы	Все почвы	17,6	6,3	19,5

Исходное количество внесенных биогенных элементов определяют по формуле

$$W_{исх} = \sum_{j=1}^m \Phi_{M_j} W_{срj}, \quad (3)$$

где $W_{исх}$ — исходное количество внесенных в почву биогенов, кг/год; m — количество видов удобрений; Φ_{M^i} — физическая масса j -го вида вносимых удобрений, т; $W_{срj}$ — среднее содержание биогенных элементов в удобрении j -го вида (табл. 10.11).

10.11. Среднее содержание биогенных веществ в удобрениях, %

Удобрения	Азот	Фосфор	Калий
Органические			
Навоз свежий:			
КРС	0,45	0,23	0,50
свиней	0,45	0,19	0,60
КРС на торфяной подстилке	0,6	0,22	0,48
Навоз смешанный после 3...5 мес хранения	0,54	0,25	0,7
Перегной	0,7...2	0,3...1,2	0,9
Навозная жижа	0,22	0,01	0,46
Торф верховой	0,9	0,1	0,01
Торф низинный	2,0	0,2	0,15
Птичий помет	1,5	1,5	0,9
Канализационные сточные воды	0,01	0,002	0,004
Торфоминерально-аммиачные удобрения	0,5	0,3	0,4
аммиачные удобрения			
Минеральные			
Суперфосфат	—	18	—
Фосфоритная мука	—	19...30	—
Костная мука	—	15...30	—
Аммофос	11...12	42...44	—
Нитроаммофоска	16	16	16

Физическую массу удобрений вычисляют по формуле

$$\Phi_{M_j} = \sum_{j=1}^m S_j N_j, \quad (4)$$

где S_j — площадь внесения j -го удобрения, га; N_j — норма внесения j -го удобрения, т/га.

Повышенные потери биогенов могут наблюдаться при низких уровнях технологий использования удобрений (табл. 10.12).

10.12. Потери удобрений в результате нарушений технологий их использования, %

Вид удобрений	Уровень технологий		
	высокий	средний	низкий
Органические	5	10	20
Минеральные	2	4	6

Используя данные таблицы 10.12, можно определить долю потерь биогенных элементов и вычислить их суммарный вынос с участка в результате нарушений технологии ($W_{пот}$, кг/год) по формуле

$$\Sigma W_{пот} = \sum_{j=1}^m W_{исхj} q_j, \quad (5)$$

где q_j — доля потерь биогенных элементов в результате нарушений технологии внесения j -го удобрения; $W_{исхj}$ — исходное количество внесенных биогенных удобрений j -го вида, кг/год.

Общая величина выноса биогенов ($W_{об}$, кг/год) составит

$$W_{об} = \Sigma W_{пл} + \Sigma W_{пот}, \quad (6)$$

а коэффициент потерь

$$\alpha_{пот} = W_{об} / W_{исх}. \quad (7)$$

10.5. СНИЖЕНИЕ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ ИНЖЕНЕРНО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ (ПИБС)

Биогенная нагрузка на различные водные объекты возрастает в результате эрозионно-аккумулятивных процессов на водосборах и последующего выноса биогенов из площадных и точечных источников водами местного стока.

Для предупреждения эрозии почв, а также снижения и предотвращения передвижения потоков биогенов на площадях водосборов создают противоэрозионные системы.

Противоэрозионная система представляет собой целостный комплекс составляющих элементов в пределах данного водосбора и включает специальные приемы возделывания сельскохозяйственных культур и ресурсосберегающие технологии, естественные и культурные ценозы травянистой и древесной растительности, лесомелиоративные мероприятия и противоэрозионные гидротехнические сооружения. Благодаря взаимосвязи и взаимодействию указанных элементов друг с другом и с окружающей средой система приобретает свойства, способствующие

достижению устойчивости и продуктивности агроландшафта, а также охране природы. Такие системы называют противоэрозионными инженерно-биологическими системами водосборов (ПИБС).

Общее множество для каждой такой системы можно выразить следующим образом:

$$\text{ПИБС} = \{a_1, \dots, a_n \in A; b_1, \dots, b_m \in B; c_1, \dots, c_i \in C; d_1, \dots, d_j \in D\}, \quad (8)$$

где a_1, \dots, a_n — элементы подмножества защитных лесных насаждений (A) числом n (полезащитные, стокорегулирующие, приовражные и прибалочные лесные полосы; склоновые, донные, байрачные и пойменные насаждения, колки и др.); b_1, \dots, b_m — элементы подмножества противоэрозионных гидротехнических сооружений (B) числом m (валы с широким основанием, террасы, водозадерживающие и водонаправляющие валы и валы-каналы, распылители стока, сопрягающие и донные сооружения на оврагах и т. п.); c_1, \dots, c_i — элементы подмножества фитоформ культурной и дикой растительности (C) числом i (поля, полосы и клинья многолетних и однолетних трав, залуженные участки склонов и доньев, звеньев гидрографической сети, кулисы из высокостебельных растений и др.); d_1, \dots, d_j — элементы подмножества ресурсосберегающих технологий и специальных приемов возделывания сельскохозяйственных культур (D) числом j (поля и участки с плоскорезной, безотвальной, чизельной, минимальной и другой обработкой, с посевом специальными сеялками, полосным размещением культур, мульчированием, искусственным микрорельефом и т. д.).

Внутренняя организация ПИБС зависит от сложности структуры (элементы и их связи) и особенностей размещения в рельефе основных элементов (лесные насаждения и гидротехнические сооружения).

По категориям сложности структуры ПИБС бывают простыми и сложными. Простые системы включают только отдельные элементы — лесные полосы, гидротехнические сооружения, приемы агротехники, фитоформы трав. Сложные ПИБС подразделяются на определенное число подсистем (подсистемы на пахотных приводораздельных землях, в звеньях гидрографической сети, в водоохраных зонах рек и др.), которые, в свою очередь, могут быть разделены на подсистемы более низких уровней или на отдельные элементы.

Каждый класс внутренней организации ПИБС (простых и сложных) под-

разделяют на подклассы субоптимизирующихся и оптимизирующихся систем. Под субоптимизирующимися подразумевают системы, которые в процессе последовательного улучшения (самоорганизации и антропогенной регуляции) не могут достичь наилучшего из возможных результатов (лесные полосы посажены вдоль склона, террасы нарезаны на оползневых участках склонов, донные сооружения плотины построены в местах выклинивания грунтовых водит, п.).

При размещении лесных насаждений и гидрографических сооружений по горизонтальной местности (или с допустимыми отклонениями от них), исключении ошибок в процессе проектирования и строительства оптимизирующаяся ПИБС позволяет достичь наилучшего из возможных результатов.

Состав формирующихся ПИБС водосборов изменяется в зависимости от эрозионного пояса, крутизны склонов и особенностей развития эрозионных процессов, определяемых литологией пород (табл. 10.13).

Основную нагрузку по регулированию поверхностного стока и поглощению биогенов, поступающих с площадных источников (пашня и другие сельскохозяйственные угодья), несут стокорегулирующие лесные полосы, усиленные по нижней опушке простейшими гидротехническими сооружениями и размещенные с учетом горизонталей местности. При этом соседние по склону (расположенные ниже и выше) лесные полосы должны быть параллельны друг другу.

Лесные полосы, усиленные простейшими гидротехническими сооружениями, разделяют склон на изолированные друг от друга участки и таким образом предупреждают передвижение с поверхностным стоком и наносами биогенов, которые аккумулируются под пологом насаждений и утилизируются ими.

Ширину лесных полос в сочетании с валами (на склонах крутизной до 3°) или валами-канавами (на склонах крутизной более 3°) определяют по формуле

$$b_{л.п} = h_p / i, \quad (9)$$

где $b_{л.п}$ — ширина лесной полосы, м; h_p — рабо-

10.13. Элементы противоэрозионных систем водосборов на пахотных землях

Эрозионный пояс	Характеристика склонов и эрозии	Составляющие элементы ПИБС
Талого стока и смыва	Склоны крутизной 1...3°, слабый смыв, практическое отсутствие оврагов	Обработка почв и посев поперек склона или под допустимым углом, агротехнические приемы для безопасного отвода талых вод с полей, полосное размещение культур (совместный посев), приемы регулирования снеготаяния, буферные полосы трав
Талого и ливневого стоков и смыва	Склоны крутизной более 3°, смыве почвы, наличие оврагов	То же, плюс водонаправляющие гидротехнические сооружения, нагорные каналы, «консервирование» участков средне- и сильносмываемых почв при их залужении
	Склоны крутизной 1...3°, слабый смыв, практическое отсутствие оврагов	Обработка почв и посев контурный или поперек склона, стокорегулирующие лесные полосы, агротехнические приемы защиты почв от эрозии, полосное размещение культур
Ливневого стока и смыва	Склоны крутизной более 3°, смыве почвы, наличие оврагов	То же, плюс прибалочные и приовражные лесные полосы в сочетании с валами-канавами водонаправляющего типа, на склонах круче 5° — напашные террасы или валы с широким основанием, отводящие сток, «консервирование» участков средне- и сильносмываемых почв при их залужении или облесении, сооружения по регулированию оврагов
	Склоны крутизной 1...3°, слабый смыв, практическое отсутствие оврагов	Обработка почвы и посев контурный или поперек склона, мульчирование поверхности пашни, почвозащитные технологии обработки почвы (плоскорезная, безотвальная, минимальная, поверхностная), полосное размещение культур, стокорегулирующие лесные полосы, усиленные водозадерживающими валами, приемы снегозадержания
	Склоны крутизной более 3°, смыве почвы, наличие оврагов	То же, плюс прибалочные и приовражные лесные полосы, усиленные водозадерживающими валами-канавами, на склонах крутизной более 5° — напашное террасирование или валы с широким основанием, «консервирование» участков средне- и сильносмываемых почв при их залужении или облесении, сооружения по регулированию оврагов

чая высота земляного вала, размещенного по нижней опушке лесной полосы (при крутизне склонов менее 3° $h_p = 0,5...0,6$ м, от 3 до 5° $h_p = 0,8...1,0$ м, при крутизне более 5° $h_p = 1,3...1,5$ м); i — уклон склона, $\sin \alpha$.

Ширина лесной полосы ($b_{л.п.}$) соответствует зоне интенсивной утилизации биогенов. Общую ширину (b) лесной полосы и гидротехнического сооружения ($b_{гт.с.}$) находят по формуле

$$b = b_{гт.с.} + b_{л.п.}, \quad (10)$$

принимая, что $b_{гт.с.}$ равна 4 м, а для вала-канавы — 5 м.

Расчет расстояний между лесными полосами на склонах проводят, исходя из того, что на межполосном участке (рис. 10.20) длиной L скорости водных

потоков будут неразмывающими, а вся вода, стекающая с межполосного поля (вместе с растворенными биогенами), будет поглощаться на участке $b_{л.п.}$

Для определения этих расстояний применяют уравнение А. Н. Костякова,

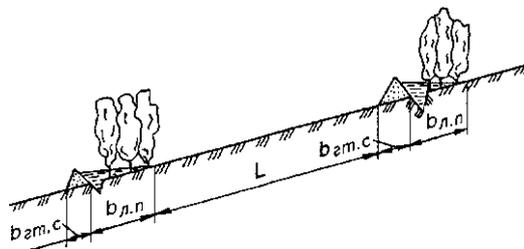


Рис. 10.20. Межполосный полевой участок длиной L ($b_{л.п.}$ — участок аккумуляции и утилизации биогенных элементов)

модифицированное В. М. Ивониным для агролесомелиоративных расчетов на склонах разного поперечного профиля:

$$L = \frac{V_n^2 K_{л.п}}{m^2 C \sigma X K_{ф.п.с}}, \quad (11)$$

где L — расстояние между стокорегулирующими лесными полосами, усиленными простейшими гидротехническими сооружениями, м; V_n — перемывающая скорость течения воды для зяби, м/с; $K_{л.п}$ — коэффициент мелиоративного влияния лесных полос на склонах (в среднем $K_{л.п} = 1,07$); m — коэффициент ложбинности склона (если нет ложбин, $m = 1$, несколько ложбин — $m = 2$); $C = 7\sqrt{i} \dots 30\sqrt{i}$ — коэффициент, зависящий от крутизны и шероховатости склона; $K_{ф.п.с}$ — коэффициент формы поперечного профиля склона ($K_{ф.п.с}$ прямого склона равен 1,00; выпуклого склона — 1,00...1,25; вогнутого склона 0,75...1,00); X — интенсивность осадков, мм/мин; σ — коэффициент стока.

Среднее значение показателей формулы (11) приведены в таблице 10.14.

10.14. Среднее значение основных показателей формулы (11) для зяби

Почвы	Гранулометрический состав почв			C	a
	легкие	средние	тяжелые		
	Кч, м/с				
Черноземы обыкновенные	0,12	0,16	0,19	$30\sqrt{i}$	0,5
Черноземы южные	0,11	0,14	0,15	$30\sqrt{i}$	0,5
Каштановые	0,09	0,13	0,15	$20\sqrt{i}$	0,6
Светло-каштановые	0,07	0,09	0,11	$20\sqrt{i}$	0,6

Прибалочные лесные полосы также участвуют в аккумуляции и утилизации биогенных веществ, поступающих с поверхностным стоком с прилегающих полей. При ширине прибалочных лесных полос, равной 21 м, суммарное водопоглощение за период снеготаяния обычно составляет 230 мм на дерново-подзолистых почвах, 300 — на серых лесных и 400 мм на черноземах.

Если прибалочную лесную полосу пересекают ложбины, то в их пределах устраивают простейшие гидротехнические сооружения (земляные валы, вали-канавы, плетневые запруды с земляным банкетом и др.), которые способствуют аккумуляции биогенных элементов под пологом насаждения.

В эрозионных поясах ливневого, а

также талового и ливневого стоков и смыва ширину прибалочных лесных полос определяют по формуле

$$B_{лр} = 10\,000 S_{ПДК} / l_{лр}, \quad (12)$$

где $B_{лр}$ — ширина прибалочной лесной полосы, обеспечивающая снижение содержания биогенов в поверхностном стоке до ПДК, м; $S_{ПДК}$ — площадь прибалочной лесной полосы, необходимая для снижения содержания биогенов в поверхностном стоке до ПДК, га; $l_{лр}$ — длина приборочного участка, м.

В соответствии с имеющимися рекомендациями (Проектирование и создание систем противозерозионных и водохранимых мероприятий на водосборах. М., 1990) $S_{ПДК}$ рассчитывают по NH_4 , P_{2O_5} и наносам:

$$S_{ПДК NH_4} = 0,028 F \times \left(B_{NH_4} - B_{ПДК NH_4} \right); \quad (13)$$

$$S_{ПДК P_{2O_5}} = 0,071 F \times \left(B_{P_{2O_5}} - B_{ПДК P_{2O_5}} \right); \quad (14)$$

$$S_{ПДК н} = X_{10\%} T_{\sigma_k} F / Vt, \quad (15)$$

где $S_{ПДК NH_4}$, $S_{ПДК P_{2O_5}}$ и $S_{ПДК н}$ — соответственно площадь прибалочной лесной полосы, необходимая для снижения концентрации в воде поверхностного стока аммиачного азота, фосфатов и наносов до ПДК, га; F — площадь пашни на водосборе, га; B_{NH_4} и $B_{P_{2O_5}}$ — соответственно вынос в растворенном виде аммиачного азота и фосфатов, кг/га; $B_{ПДК NH_4}$ и $B_{ПДК P_{2O_5}}$ — вынос в растворенном виде аммиачного азота и фосфатов в пределах ПДК, кг/га*. $X_{10\%}$ — интенсив-

10.15. Коэффициент ливневого стока (σ)

Почва	Слой осадков 10%-ной обеспеченности, мм	Крутизна склона, °			
		2...3	3...5	5...6	8...12
Дерново-подзолистая	40	0,22	0,26	0,30	0,35
Серая лесная	60	0,25	0,30	0,34	0,40
Смытый чернозем	80	0,28	0,32	0,36	0,44
	100	0,30	0,34	0,38	0,46
Черноземы	40	0,08	0,12	0,15	0,20
	60	0,10	0,15	0,19	0,25
	80	0,13	0,17	0,22	0,30
	100	0,17	0,21	0,26	0,35

* Рассчитывают по объему ливневого стока 10%-ной обеспеченности и ПДК аммиачного азота и фосфатов согласно «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», 1974 и «Санитарным правилам и нормам охраны поверхностных вод от загрязнения», 1988.

10.16. Водопроницаемость почв в защитных лесных насаждениях, мм/мин

Почва	Преобладающая древесная порода						
	дуб	дуб, ясень	ель	сосна	лиственница	робиния	береза
	Лесные полосы						
Дерново-подзолистая	9	9	6	7	7	—	3
Серая лесная	11	14	7	6	5	—	4
Черноземы	14	16	8	6	6	5	5
	Массивные лесные насаждения						
Дерново-подзолистая:							
супесчаная	21	—	16	15	12	—	8
суглинистая	12	12	6	8	8	—	6
Серые лесные	15	16	8	8	7	—	5
Черноземы	17	17	10	—	—	—	—
Дерново-аллювиальные (донья балок, лощин)	10	9	5	5	7	6	5
Неразвитые щепнистые	—	—	14	18	—	10	—

10.17. Концентрации NH_4 и P_2O_5 в водах ливневого стока, мг/л

Доза удобрений, кг д.в./га		Пропашные культуры		Озимые зерновые (пшеница, рожь)		Многолетние травы	
Азот	Фосфор	NH_4	P_2O_5	NH_4	P_2O_5	NH_4	P_2O_5
40...60	40...60	2,8	0,4	1,9(5,4)	0,3(5,4)	(3,8)	(1,0)
60...80	60...80	3,9	0,5	2,2	0,4	(4,5)	(1,4)
80...100	80...100	4,2	0,7	3,1	0,6	(5,0)	(1,8)
100...150	100...150	5,8	0,9	3,8	0,8	(5,2)	(2,5)
150...200	150...200	5,2	1,2	4,6	1,0	(7,4)	(3,2)

Примечание. В скобках приведены концентрации биогенов при поверхностном внесении удобрений.

ность ливня 10%-ной обеспеченности, мм/мин; T — продолжительность ливня, мин; σ_k — коэффициент ливневого стока на склонах разной крутизны (табл. 10.15); V — водопроницаемость почв в лесном насаждении, мм/мин (табл. 10.16); t — продолжительность склонового добежания, мин.

Вынос NH_4 и P_2O_5 в растворенном виде определяют по формулам

$$B_{\text{NH}_4} = 0,01 h_{10} \sigma_k C_{\text{NH}_4}; \quad (16)$$

$$B_{\text{P}_2\text{O}_5} = 0,01 h_{10} \sigma_k C_{\text{P}_2\text{O}_5}; \quad (17)$$

где h_{10} — слой поверхностного ливневого стока 10%-ной обеспеченности, мм (согласно «Инструкции по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий. ВСН 04-77». Л., 1979); C_{NH_4} и $C_{\text{P}_2\text{O}_5}$ — соответственно концентрация аммиачного азота и фосфатов в водах ливневого стока, мг/л (табл. 10.17).

Продолжительность склонового добежания (t) определяют по формуле

$$t = az \sqrt{L_{\text{СК}} / \sigma i}, \quad (18)$$

где a — коэффициент, определяемый агрофоном (для пропашных культур он равен 125, для зерновых — 191); z — коэффициент, зависящий от ин-

тенсивности ливневых осадков (табл. 10.18); $L_{\text{СК}}$ — протяженность прилегающего склона, м; i — уклон, градусы; σ — коэффициент стока.

10.18. Коэффициенты, зависящие от интенсивности ливневых осадков (г)

Интенсивность ливня 10%-ной обеспеченности, мм/мин	z	Интенсивность ливня 10%-ной обеспеченности, мм/мин	z
1,1	1,0	1,6	0,69
1,2	0,92	1,7	0,65
1,3	0,85	1,8	0,61
1,4	0,79	1,9	0,58
1,5	0,73	2,0	0,55

При расчетах по формуле (12) используют наибольшее значение, получаемое по формулам (13), (14) и (15).

В приречной зоне речных долин ширину приречных полос устанавливают аналогично ширине прибалочных лесных полос.

При регулировании потоков биогенов особое значение имеет лесомелиоративное обустройство балочных псевдопойм — аккумулятивные образования на дне балки, возникшие при эрозионно-аккумулятивной деятельности временных донных потоков. Через балки в реки поступает основное количество

вод местного стока вместе с биогенными элементами. Поэтому особое значение придают насаждениям — илофильтрам, которые создают на дне балок необходимые условия для изменений плановых положений русел на псевдопоймах. Иногда это приводит к явлению, называемому русловым обходом донных насаждений.

Для повышения аккумулярующей способности донных насаждений под их пологом устраивают плетневые сооружения (переплетают хворостом рядом стоящие стволы деревьев на высоту 1 м и засыпают плетни грунтом со стороны подхода воды): на дне балок с выраженным руслом временного водотока — стреловидные распылители стока, без явного русла — полузапруды, отводящие сток от периферии псевдопоймы к центру и предупреждающие русловый обход насаждений (рис. 10.21).

Такое сочетание донных лесных насаждений и простейших гидротехнических сооружений способствует формированию устойчивых аккумулятивных образований — псевдопойм и улучшению качества вод местного стока.

Насаждения на коренных берегах рек и эродированных крутых склонах (до 35°) создают по напашным (крутизна до 12°) или ступенчатым террасам (рис. 10.22). Они предназначены для регулирования стока и улучшения его качества, повышения продуктивности ценозов травянистой растительности на межтеррасных пространствах.

Расстояние между террасами на склоне определяют по формуле В. М. Ивонина

$$L_{м.т} = \frac{H - B_t \operatorname{tg} \alpha}{K_{лм.п} \sin \alpha}, \quad (19)$$

где $L_{м.т}$ — расстояние между террасами, м; H —

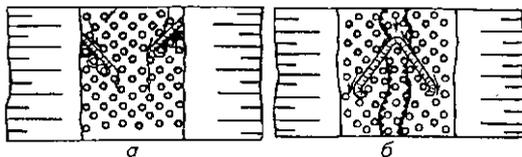


Рис. 10.21. Плетневые сооружения с земляным банкетом под пологом донного насаждения:

a — полузапруды, отводящие сток от периферии к центру псевдопоймы без выраженного тальвега; *б* — распылитель стреловидной формы на участке псевдопоймы с выраженным тальвегом

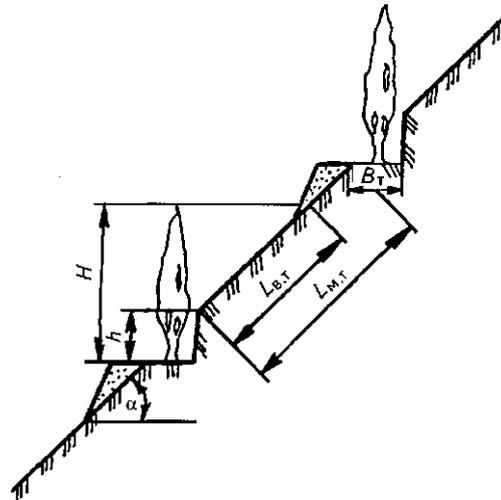


Рис. 10.22. Основные характеристики террас на склоне:

H — средняя высота деревьев, м; h — глубина вертикального вреза полотна террас, м; B_t — ширина горизонтального вреза полотна террасы, м; α — крутизна склона, градусы; $L_{в.т}$ — длина «ветровой тени», м; $L_{м.т}$ — расстояние между террасами, м

высота главной породы лесного насаждения на террасе, м; B_t — ширина горизонтального вреза полотна террасы в склон, м; α — крутизна склона, градусы; $K_{лм.п}$ — коэффициент лесомелиоративного перекрытия межтеррасного участка склона ($K_{лм.п} = 2$).

На пойменных террасах создают стокорегулирующие лесные полосы в сочетании с простейшими гидросооружениями, что обеспечивает поглощение и утилизацию большей части биогенов, поступающих на пойму с межбалочных склонов.

Пойменные лесные полосы и леса предназначены для повышения качества вод местного стока, поступающих в реки, усиления утилизации биогенных веществ под лесным пологом и аккумуляции аллювия, вовлекаемого в почвообразование, что приводит при участии биогенов к образованию прочной макроструктуры почв, повышению водостойкости агрегатов, содержания гумуса и пластичности, а также оптимальной плотности слоя почвы 0—20 см.

При создании лесных полос на пойменных террасах их необходимо размещать таким образом, чтобы сосредоточенно направлять воды паводков и паводий для промывки русел от наилка,

что будет способствовать предотвращению процессов эвтрофирования. -

Для улучшения санитарно-гигиенического состояния берегов, утилизации биогенов, повышения качества воды, предотвращения размыва берегов и абразии в пределах прибрежной полосы (ширина ее варьирует от 15 до 100 м в зависимости от вида угодий, прилегающих к руслу, и крутизны склонов) по обе стороны от русла создают прирусловые лесные насаждения.

В соответствии с действующими рекомендациями («Выращивание системы защитных лесных насаждений в водоохранных зонах малых рек», 1988) ширину прирусловых насаждений формируют в зависимости от состояния русловых берегов (табл. 10.19).

Таким образом, регулирование рассеянных потоков биогенных элементов от площадных источников и утилизацию этих биогенов можно приводить путем создания ПИБС водосборов. Такие системы включают следующие виды лесных насаждений: стокорегулирующие, приовражно-прибалочные и приречные лесные полосы; балочные (донные) насаждения; насаждения на коренных берегах речных долин и надпойменных террасах; пойменные лесные полосы; леса и прирусловые насаждения. При необходимости их сочетают с простейшими гидротехническими сооружениями.

На сельскохозяйственных угодьях необходимо предусматривать полосное размещение многолетних трав, пара, пропашных культур и культур сплошного посева, применять ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

На орошаемых и осушенных землях вдоль магистральных каналов и водоемов следует оставлять нераспаханные полосы земли (при уклонах менее 0,002 — не ближе 30 м от уреза воды, более 0,002 — не ближе 100 м).

Пойменные земли на 50—70 % следует использовать преимущественно под сенокосы. Площадь пашни не должна превышать 10—15 % от площади поймы. Лесные полосы и пойменные леса обеспечивают сохранение устойчивости и продуктивности агроэкосистем, если они занимают 20—25 % площади поймы.

На сельскохозяйственных полях необходимо строго соблюдать дозы, сроки и технологии внесения минеральных и органических удобрений, исключая, как отмечалось выше, внесение удобрений по снежному покрову и промерзшей почве.

В пределах водоохранных зон запрещается:

- опыливание ядохимикатами и авиавнесение любых удобрений;
- размещение складов для хранения пестицидов и минеральных удобрений, животноводческих ферм и комплексов, оросительных систем, в которых используются навозосодержащие сточные воды, мест захоронения и складирования навоза, свалок и отходов, взлетно-посадочных полос для ведения авиационно-химических работ;
- строительство новых и расширение старых предприятий;
- стоянка, заправка, мойка и ремонт автотранспортного парка.

10.19. Ширина прирусловых лесных насаждений в водоохранных зонах малых рек, м

Часть реки, ее длина, км	Состояние русловых берегов			
	устойчивые	размываемые в нижней части	размываемые по всему профилю	намываемые
Истоковая, до 10	6...10	6...10	6...10	6...10
	4...6	4...6	4...5	4...6
Верхняя, до 25	6...11	11...13	13...15	10...11
	6...7	7...8	8...10	4...6
Средняя, 25...50	12...14	14...17	17...20	12...14
	8...9	9...11	11...13	8...9
Нижняя, свыше 50	15...20	22...24	24...30	12...14
	10...18	13...16	16...20	6...9

Примечание. Числитель — при крутизне более 3°, знаменатель — менее 3°

В пределах прибрежных полос дополнительно запрещаются распашка земель, выпас и организация летних лагерей для скота, применение ядохимикатов и удобрений, строительство баз отдыха и палаточных городков и т. п.

При наличии в водоохранных зонах

(или прибрежных участках долин и балок) точечных источников биогенов (животноводческие комплексы и др.) проводят дополнительные мероприятия по ограничению выноса потоков биогенных элементов по гидрографической сети и поступления их в водные объекты.

Глава 11 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЗАЦИИ

11.1. ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ*

По классификации ФАО к современным агрохимикатам относятся средства химизации сельского хозяйства, оказывающие большое влияние на агроценозы и их продуктивность. К ним относятся минеральные удобрения, химические средства защиты растений, регуляторы роста растений, искусственные структурообразователи почвы и т. п.

Применение органических и минеральных удобрений — одно из основных условий повышения урожайности сельскохозяйственных культур, а также важное звено технологий их выращивания. Это и неудивительно, поскольку само функционирование агроценозов основывается на систематическом отчуждении больших количеств биогенных элементов. Так, с урожаями различных сельскохозяйственных культур из почвы выносятся (в расчете на 1 т основной и соответствующее количество

побочной продукции) 17...67 кг азота, 1...27 фосфора и 2...114 кг калия (Дегоню, 1988, обобщенные данные), поэтому очевидна необходимость постоянной эквивалентной компенсации потерь питательных элементов. Использование удобрений (особенно органических) позволяет возвращать и вовлекать в круговорот питательные вещества взамен изъятых из агроценозов с основной и побочной продукцией, обеспечивая таким образом определенную устойчивость производственных процессов.

Проблема компенсации элементов питания в настоящее время чрезвычайно актуальна для России. По государственным и ведомственным статистическим данным, реальный баланс питательных веществ в земледелии Российской Федерации (кг/га НРК за год) выглядит следующим образом (Земледелие и рациональное землепользование / Под ред. В. П. Зволинского и Д. М. Хомякова. — М., 1998):

Годы	1986—1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Всего внесено под урожай	147	110	70	53	25	24	23	22
В том числе:								
с минеральными удобрениями	100	78	43	29	11	12	13	14
с органическими удобрениями	47	32	27	24	14	12	10	8
Всего вынесено	138	123	135	139	130	116	118	126
В том числе:								
с урожаем	113	90	110	106	90	74	72	78
с сорняками	25	33	25	33	40	42	44	46
Баланс ±	+9	-13	-65	-86	-105	-92	-95	-104

* Все данные по агрохимикатам, если это не оговорено особо, даны в расчете на действующее вещество. — Прим. ред.

Удобрение полей применяют с давних времен. Еще в I в. н. э. этому мероприятию уделяли большое внимание. Так, в Древнем Риме были установлены нормы вывоза на поля навоза с учетом рельефа местности, в соответствии с которыми на 1/4 га ровного поля следовало вносить около 18 возов удобрений, а на холм — 24 воза.

Представляют интерес оценки специалистов США, согласно которым влияние различных факторов на урожайность сельскохозяйственных культур ранжируется следующим образом (%):

Удобрения	41
Гербициды	15...20
Благоприятная почва	15
Гибридные семена	8
Орошение	5
Прочие факторы	11...16

Статистические данные свидетельствуют о том, что в настоящее время за счет продукции, получаемой с помощью удобрений, обеспечивается пища каждый четвертый житель нашей планеты. Неслучайно академик Д. Н. Прянишников сравнивал прирост продукции, получаемой благодаря внесению удобрений, с открытием новых земельных континентов.

В начале 60-х годов профессор Фриц Бааде определил среднюю для всей планеты норму минеральных удобрений на 2000-й год. По его оценкам, она составит по 40 кг азота, фосфора и калия на 1 га. По прогнозам ФАО, мировая потребность в минеральных удобрениях достигнет в 2000 г. 300 млн т, в том числе 170 млн т азотных, 70 млн т фосфорных и 60 млн т калийных.

За 1986—1990 гг. в земледелии России в среднем потреблялось 13 млн т минеральных удобрений. По оценкам Д. М. Хомякова (1998), для надежного обеспечения населения нашей страны продовольствием необходимо следующее количество растениеводческой продукции, млн т: зерна 95, сахарной свеклы 27, подсолнечника 3,5, картофеля 38, овощей 11,5. При этом потребность в минеральных удобрениях составит 10 млн т, в пестицидах — 8,5 тыс. т, в известьесодержащих материалах — 35,5 млн т. В целом для обеспечения

стабильного функционирования АПК и расширенного воспроизводства почвенного плодородия России, по экспертным оценкам Минсельхозпрода, требуется 16,5 млн т минеральных удобрений.

Внесение под сельскохозяйственные культуры значительных доз минеральных и органических удобрений, а также мелиорантов — ключевое условие дальнейшего развития российского земледелия (табл. 11.1).

Между тем, по данным Д. М. Хомякова (1998), в 1996—1997 гг. объемы внесения минеральных удобрений в России не превысили 1,4...1,7 млн т (т. е. примерно 14 кг на 1 га пашни, что более чем в 10 раз меньше научно обоснованной потребности). В настоящее время каждый гектар посевной площади в среднем недополучает порядка 100 кг питательных элементов. Нынешние объемы применения удобрений вдвое ниже, чем в Германии в начале века. Две трети субъектов Федерации из-за нехватки средств не смогли приобрести удобрения к весеннему сезону 1995 г., а в остальных их закупили только отдельные хозяйства. Осенью закупки удобрений под урожай 1996 г. фактически не производились. Для проведения весенних полевых работ в 1996 г. хозяйства получили 275 тыс. т минеральных удобрений из запланированных 3,0 млн т, в 1997 г. — 325 тыс. т вместо требуемых 3,0...3,5 млн т. Из необходимых к весне 30...40 тыс. т химических средств защиты растений поступило менее 2 тыс. т.

С 1994 г. установилась достаточно порочная практика: все посевы озимых производят без обязательной осенней заправки почвы минеральными удобрениями. Почти на 40 млн га зерновые культуры при посеве не получают фосфорные удобрения даже в стартовых дозах. В результате снижается устойчивость агроценозов к неблагоприятным метеорологическим условиям и повышается недобор урожая. При проведении весенних и осенних полевых работ 1997 г. у агропромышленного комплекса не оказалось финансовых ресурсов для проведения подкормки озимых посевов и припосевного внесения удобрений под яровые и озимые культуры.

11.1. Эффективность применения минеральных удобрений (в зерновых единицах) под зерновые культуры, картофель, сахарную свеклу и лен-долгунец в зависимости от почвенно-климатических условий России (Земледелие и рациональное природопользование/Под ред. В. П. Зволинского и Д. М. Хомякова. — М., 1998)

Природные зоны	Основные почвы	Годовое количество осадков, мм	Период с температурой свыше 10 °С		Урожайность без удобрений, т/га	Прибавка урожая от удобрений, т/га	Средняя оплата 1 кгд.в. удобрений прибавкой урожая, кг	Среднее долевое участие удобрений в формировании урожая, %	Среднее долевое участие N, P, K в формировании прибавки урожая от полного удобрения, %		
			ГТК	Сумма активных температур, °С					N	P	K
Южно-таежно-лесная	Дерново-подзолистая	500...700	1,3...1,6	1600...2400	2,0...2,4	1,0...1,5	5...7	34...38	49	28	23
Лесостепная	Серые лесные, выщелоченные черноземы	400...600	1,1...1,4	2000...2800	2,0...3,1	0,8...1,1	4...5	24...28	41	36	23
Степная	Обыкновенные и южные черноземы	300...400	0,6...1,1	2400...3300	2,7...2,9	0,5...0,7	4...5	14...18	31	57	12
Сухостепная	Каштановые Бурые В среднем по России	250...350	≤ 0,5	2500...3600	1,5...1,8	0,2...0,4	3...4	13...17	30	60	10
					2,2...2,7	0,7...0,9	4...6	20...27	41	39	20

Примечание. Для зональных систем земледелия агроэкологически оправданные средние ежегодные дозы минеральных удобрений составляют, кг/га: в южно-таежно-лесной зоне — N⁹⁰...120P⁶⁰...80K⁶⁰...80, в степной — N⁴⁰...60P⁴⁰...60K²⁰...30, в сухостепной — N¹⁵...30P³⁰...45K¹⁰...20.

Средства химизации земледелия применяются менее чем на 20 % всей пахотной площади России.

Для осознания глубины пропасти, в которую скатывается сельское хозяйство России, уместно сравнить вышеприведенные цифры с нижеследующими. Как известно, в США 125 млн га уборочных площадей, т. е. примерно столько же, сколько в России. При этом в 1995—1997 гг. там ежегодно производили более 26 млн т минеральных удобрений, т. е. 208 кг на 1 га пашни. В земледелии использовалось свыше 10 млн т азотных, 4 — фосфорных и около 5 млн т калийных удобрений, что обеспечивало положительный баланс питательных веществ («Аграрный сектор США в конце XX века», 1997). В ФРГ в 1991—1993 гг. в среднем за год на 1 га сельскохозяйственных угодий вносилось 192,3 кг минеральных удобрений, в том числе: 108,7 кг/га азотных, 34,3 — фосфорных и 49,3 кг/га калийных, а среднегодовое производство продукции, выраженной в зерновых единицах с 1 га сельскохозяйственных угодий, составило 6,94 т (Шпар, 1996).

Заслуживает внимания динамика производства и потребления минеральных удобрений за последние годы, млн т в год:

Производство:	1986-1990 гг.	1993—1997 гг.
азотные	7,8	4,6
фосфорные	4,7	1,8
калийные	4,5	2,8
всево	17,0	9,2
Поставка в АПК	13,0	2,0
Доля от производства, %	76	22
Разность между производством и потреблением	4,0	7,2

Примечание. При расчетах использованы материалы Д. М. Хомякова (1998).

На основании приведенных выше данных можно констатировать, что при падении производства удобрений в среднем в 1,85 раза поставка их агропромышленному комплексу сократилась в 6,5 раза (с 76 до 22 % от произведенного количества). Одновременно наблюдается весьма существенный рост вывоза удобрений. За этими грустными цифрами стоят более 130 организаций России, торгующих удобрениями с за-

рубежными странами, а по сути продающих хлеб и разбазаривающих национальное достояние. В этой связи представляют интерес данные Д. М. Хомякова (1998), согласно которым отдача от 1 кг питательных веществ (NPK) составляет в среднем для зональных севооборотов от 4 до 8 кг зерна или его эквивалента. Используя нужное количество минеральных удобрений, можно было бы получить дополнительно 30...40 млн т зерна, а общая прибавка растениеводческой продукции составила бы 50...60 млн т в пересчете на зерновые единицы. Это полностью обеспечило бы потребность России, ее экономическую и продовольственную безопасность и, самое главное, явилось бы основой возрождения национальной экономики.

Говорят, древним грекам принадлежит изречение: «Не надо смеяться. Не надо плакать. Надо понимать». Рассматривая экологические аспекты применения удобрений и химических средств защиты растений в сельском хозяйстве, следует отметить, что за последние двадцать лет появилось немало отечественных и зарубежных публикаций, в которых аргументированно и взвешенно, а также достаточно конструктивно обсуждается широкий спектр вопросов, связанных с обеспечением природосообразности в процессах химизации. В качестве примера можно сослаться, в частности, на коллективную монографию Э. Хайниша и др. «Агрохимикаты в окружающей среде» (1979), капитальный труд Ф. Рамада «Основы прикладной экологии» (1981), обстоятельные книги В. Г. Минеева «Экологические проблемы агрохимии» (1988), «Химизация земледелия и природная среда» (1990), «Биологическое земледелие и минеральные удобрения» (1993), интересную работу М. С. Соколова и др. «Экологизация защиты растений» (1994) и т. д. Вместе с тем вышло в свет и большое число поверхностных публикаций в виде «сентенций-страшилок», в которых вообще отрицается целесообразность химизации. Как тут не вспомнить Д. Н. Прянишникову, который еще в далеком 1937 г. заметил, что авторы, думающие, что они знают секрет получения высоких урожаев без применения удобрений (и без знания

агрохимии), напрасно называют себя учеными-материалистами. Не обошлось, разумеется, и без суждений, в которых подходы к ведению земледелия определяются лозунгом «Химия или жизнь!».

В. Г. Минеев (1998), подчеркивая альтернативность разумного использования всех видов удобрений и химических мелиорантов, сформулировал следующие функциональные задачи, требующие решения:

- оптимизация питания культурных растений биогенными макро- и микроэлементами с учетом усиления деятельности физиологических барьеров, препятствующих поступлению токсических элементов в растения, особенно в генеративную их часть, составляющую продукцию растениеводства;

- воспроизводство плодородия, улучшение свойств и гумусового состояния почв;

- поддержание активного баланса и малого круговорота биогенных элементов в земледелии с учетом оптимального их соотношения в агроэкосистеме;

- создание оптимальных культурных агрогеохимических ландшафтов для различных природных регионов в соответствии с их специализацией;

- снижение негативных последствий от глобального и локального техногенного загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами и другими токсическими элементами;

- улучшение радиационно-экологической ситуации в агроэкосистеме;

- регулирование биологических показателей агроэкосистемы;

- улучшение химического состава и питательной ценности растениеводческой продукции.

Вполне очевидна как агрохимическая, так и экологическая заданность приведенных задач, формирующих системный каркас оптимальной и в хозяйственном, и в природоохранном отношении химизации земледелия.

Признавая исключительно важную роль агрономической химии в увеличении производства продуктов питания для человека и кормов для животных, улучшении качества продукции, а в целом и в повышении эффективности сельскохозяйственного производства,

нельзя не отметить, что те же самые химические средства при неправильном их использовании могут оказывать и оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Именно неграмотное использование средств химизации, нарушение существующих регламентов служат источником наблюдающихся отрицательных последствий.

Основными причинами загрязнения окружающей среды удобрениями считают несовершенство организационных форм, а также технологий транспортировки, хранения, тукосмешения и применения удобрений, нарушение агрономической технологии их внесения в севообороте и под отдельные культуры (в том числе неумеренное или несбалансированное), несовершенство самих удобрений, их химических, физических и механических свойств.

Д. Н. Дурманов и Л. Л. Шишов (1988) обращают, в частности, внимание на настоятельную необходимость качественного развития химизации и совершенствования диагностики структуры питания возделываемых растений, что позволит исключить или хотя бы минимизировать вероятность возникновения экологических конфликтов. Основным показателем следует считать прибавку урожая или повышение содержания того или иного элемента в почве, а не количество удобрений, внесенных на 1 га поля. Это требование объективно диктует закон предельной урожайности (Рамад, 1981), в соответствии с которым повышение урожайности имеет тенденцию к замедлению, по мере того как растет количество вносимого удобрения (рис. 11.1).

Дополняя сказанное, думается, нелишне процитировать ученика Н. В. Тимофеева-Ресовского, видного специалиста по проблемам биосферы, профессора А. Н. Тюрюканова (1988): «...Кто подменил слова «минеральные соли» и «ядохимикаты» «удобрениями» и «агрохимикатами» — непонятно. Но эта безобидная замена слов чревата опасностью. Классики агрохимии говорили о минеральных солях. Кто подменил это слово словом «удобрения»? Непонятно, но зато выглядит добренько... Классики агрохимии, и особенно Д. Н. Прянишников, говорили, что удобрять надо расте-

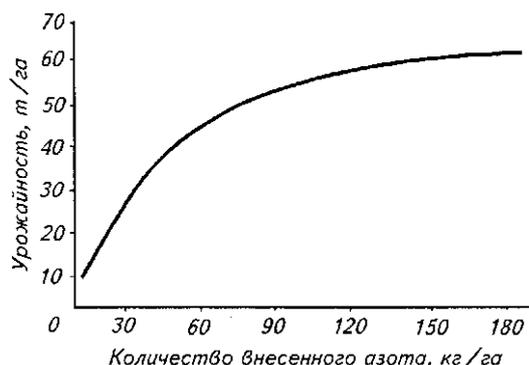


Рис. 11.1. Урожайность орошаемой кукурузы в штате Вашингтон в зависимости от количества азота, внесенного в почвы (РгаМ, 1965)

ния, а не почву. У нас удобряют почвы. А это ведет к резко завышенным дозам вносимых удобрений и наносит вред качеству биопродукции...».

Неблагоприятное влияние удобрений на окружающую природную среду, те или иные компоненты агроценозов может быть самое различное (загрязнение почв, поверхностных и грунтовых вод, усиление эвтрофирования водоемов, уплотнение почв; нарушение круговорота и баланса питательных веществ, ухудшение агрохимических свойств и плодородия почвы; ухудшение фитосанитарного состояния посевов и развитие болезней растений, снижение продуктивности сельскохозяйственных культур и качества получаемой продукции и т. д.).

Большинство минеральных удобрений характеризуется физиологической кислотностью, поэтому их применение в избыточных количествах обуславливает развитие процессов подкисления почв. Об этом можно косвенно судить, в частности, по дозам извести, используемой в качестве нейтрализатора (CaCO_3 , т на 1 т удобрений):

Аммиак жидкий	1,47
Аммония хлорид	1,39
Аммония сульфат	1,13
Аммония-натрия сульфат	0,90
Мочевина (карбамид)	0,83
Селитра аммиачная	0,74
Аммофос	0,65
Аммиак водный	0,36
Суперфосфат	0,10

Кроме того, это приводит к сниже-

нию суммы поглощенных оснований, усилению минерализационных процессов, нарушению соотношения подвижных форм макро- и микроэлементов в почве и элементного состава растений. Так, внесение высоких доз азотных удобрений под капусту приводит к нарушению обмена и поступления серы в растения, что отрицательно сказывается на качестве урожая. В результате подкисления почвенного раствора фосфаты фиксируются почвой, что ухудшает фосфорное питание растений; кроме того, при этом высвобождаются ионы алюминия, которые токсичны для почвенной биоты и растений.

Избыток минеральных удобрений вызывает нарушения в биологической компоненте почвы, вследствие чего на-

рушаются процессы трансформации органического вещества. Кроме того, увеличивается доля микроскопических грибов (среди которых много патогенов) в структуре микробного ценоза. Это грозит опасностью образования микотоксинов в почве, продуктах питания и т.д. Схема, приведенная на рисунке 11.2, позволяет убедиться, насколько важное значение имеет обеспечение растений оптимальными дозами минеральных удобрений.

Азотные удобрения. Азот, как известно, — основной элемент питания растений, поэтому вполне закономерно, что азотные удобрения относятся к базисным компонентам химизации земледелия. Однако при несбалансированности элементов питания, нарушении водного

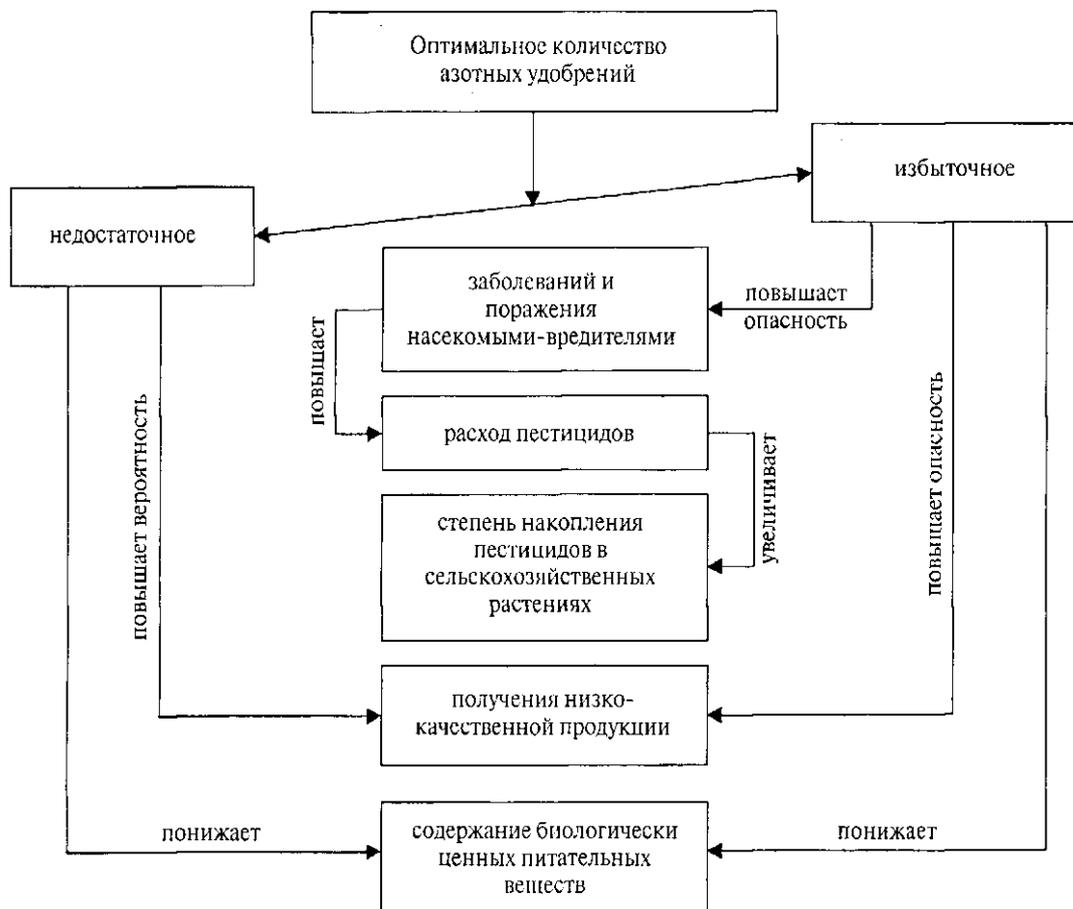


Рис. 11.2. Схема некоторых последствий недостаточного или избыточного внесения азотных удобрений

режима, недостаточной освещенности и других неблагоприятных условиях высокие дозы азотных удобрений могут привести к снижению почвенного плодородия и загрязнению продуктов питания нитратами. По данным Б. Коммонера (автора знаменитых «четырёх законов экологии»), в США растения поглощают в среднем примерно половину азота, вносимого с удобрениями. Остальное его количество улетучивается в атмосферу, сбрасывается в водоемы и накапливается в почве, вызывая загрязнение окружающей природной среды.

Азотные удобрения относятся к наиболее энергозатратным среди минеральных туков. Так, в США энергозатраты на производство и использование азотных удобрений составляют около 35 % от общего объема энергопотребления в сельском хозяйстве, а в странах Западной Европы достигают 42 %.

Азотные минеральные удобрения выпускают и применяют в твердом и жидком видах.

По форме азота твердые азотные удобрения подразделяют на:

аммонийные (NH_4): сульфат аммония, хлорид аммония;

аммонийно-нитратные (NH_4NO_3): аммиачная селитра, сульфат-нитрат аммония;

нитратные (NO_3): нитрат натрия (натриевая селитра), нитрат кальция (кальциевая селитра);

амидные (NH_2): карбамид (мочевина), цианамид кальция.

Из жидких азотных удобрений достаточно широко применяют аммиачные (NH_3), в которых весь азот находится в виде аммиака (водного или безводного).

Важным источником накопления нитратов в почве является нитрификация. Под воздействием микроорганизмов-нитрификаторов, присутствующих в любой почве, происходит минерализация органического вещества (гумуса) и внесенных органических удобрений (навоза, торфа, перегноя), в результате образуются нитраты. Еще один источник — азотные удобрения. Под воздействием тех же нитрифицирующих микроорганизмов аммонийный и амидный азот в почве постепенно переходит в нитратный. При условиях, благоприятствующих нитрификации, весь внесен-

ный в почву азот может в течение двух-трех дней полностью превратиться в нитратный. Поэтому при внесении высоких доз азотных удобрений, даже не содержащих нитратного азота, в почве может накапливаться большое количество нитратов. Это естественный физиологический процесс. Нитратный азот в почве очень подвижен и при обильных поливах или в дождливую погоду легко вымывается за пределы корнеобитаемого слоя, особенно на легких почвах.

Наряду с аммонийным азотом нитраты являются основным источником азотного питания растений.

В последние годы отчетливо прослеживается тенденция увеличения производства сельскохозяйственной продукции (особенно овощной) с повышенным содержанием нитратов. Сам факт наличия нитратов в сельскохозяйственной продукции не вызывает опасения, поскольку они представляют одну из форм существования азота — естественного составного элемента биосферы, присутствовавшего в ней еще до появления человека. Важно другое — в каких количествах присутствуют эти соединения.

Накопление нитратов в растениях происходит в результате того, что поглощенный азот не полностью расходуется на синтез аминокислот и белков (т. е. не все поглощенные нитраты восстанавливаются до аммиака). В нарушении физиологичности этого процесса важную роль играют ферменты азотного обмена — нитрат- и нитритредуктазы, а также углеводное питание растений.

Причиной нарушения процессов ассимиляции нитратов в растениях могут служить до 20 факторов, среди них такие, как сроки, формы и дозы внесения удобрений, метеорологические условия, сортовые различия, сроки посадки и густота стояния растений, качество известкования, наличие и соотношение различных питательных веществ и т. д. Например, в шпинате, выращенном при освещенности 5...6 тыс. лк, содержалось на 60...80% больше нитратов, чем при освещенности 6...7 тыс. лк. При увеличении густоты стояния моркови с 491 до 923 растений на 1 м² содержание нитратов возрастало на 43 %. Недостаток магния и серы в растениях, молибдена и

марганца в почве, а также снижение температуры воздуха, которое приводит к падению активности нитратредуктазы, также способствуют накоплению нитратов.

Как уже отмечалось, избыточное накопление нитратов в растениях обусловлено комплексом факторов. При этом наиболее важную роль играют дозы вносимых удобрений. Об этом свидетельствуют приведенные ниже данные по содержанию нитратов в овощной продукции в зависимости от применяемых доз азотных удобрений (Пругар, Пругарова, 1990):

Доза азотных удобрений, кг/га	Содержание нитратов в продукции, мг/кг (среднее за 3 года)	
	Шпинат	Кресс-салат
0	952	993
80	1338	1322
160	2160	1642

Судя по приведенным количественным характеристикам, с каждого килограмма азотных удобрений в шпинате в среднем накапливается 7,55 мг нитратов, а в кресс-салате — 4,06 мг.

Увеличение доз азотных удобрений приводит не только к повышению содержания нитратов в произведенной продукции, но и к снижению в ней содержания витамина С, Сахаров и других веществ, а следовательно, и ее биологической ценности.

Значительную роль в накоплении нитратов в овощах играют также формы применяемых удобрений, сроки уборки урожая и т. д.

Содержание нитратов различается и в зависимости от органа растений. Их больше там, где превалируют ксилема и ткани, в клетках которых хорошо развиты вакуоли, т. е. в частях, по которым осуществляется транспорт питательных веществ в растениях. Так, в корне, стебле и черешках листьев нитратов значительно больше, чем в листовой пластинке. В генеративных органах нитраты отсутствуют или содержатся в гораздо меньших количествах, чем в вегетативных.

Азотные удобрения загрязняют природные воды. Вынос азота в водные объекты определяется как природными факторами (климат и погода, гидрология и рельеф), так и антропогенными

(степень сельскохозяйственного использования территории, применяемые системы земледелия, дозы удобрений и т.д.). Например, из-за технологических нарушений в процессе хранения, подготовки и применения азотных удобрений от 3 до 20 % (а возможно, и больше) вносимых количеств попадает в водные объекты, что приводит к тем или иным негативным последствиям.

Процесс вымывания нитратов из почвы ускоряют распашка лугов, увеличение доли зерновых и пропашных культур в севообороте, полный или частичный отказ от выращивания промежуточных культур (табл. 11.2).

11.2. Вынос азота из почв, занятых различными культурами, кг/га

Почвы	Пашня		Луга
	Зерновые	Пропашные	
Песчаные	30	45	7
Суглинистые и лёссовые	21	32	5
Глинистые	15	24	3
В среднем	22	34	5

Согласно данным, полученным в США, соотношение количества азота, выносимого в процессе инфильтрации из почв под травами, зерновыми и паром, составляет 1 : 6 : 30. Вынос же азота с полей с поверхностным стоком при террасной системе земледелия примерно в 12 раз меньше, чем при контурной.

В районах интенсивного производства овощей, плодово-ягодных культур и винограда наблюдается загрязнение нитратами грунтовых вод.

Ввиду опасности нитратного загрязнения питьевой воды ВОЗ установила для нее следующие ПДК нитратов: умеренные широты — 22 мг/л, тропики — 10 мг/л. (В России аналогичный показатель составляет 10 мг/л, как в Польше и США, в ФРГ - 20 мг/л.)

Для сведения к минимуму неизбежных потерь азота, предотвращения и снижения загрязнения нитратами растениеводческой продукции, водоемов и т. д. необходимо четко соблюдать существующие регламенты по транспортировке, хранению и применению минеральных и органических удобрений.

Внесению удобрений должно предшествовать известкование почв, кото-

рое снижает почвенную кислотность и активизирует процесс восстановления нитратов.

Сроки проведения подкормок также играют важную роль в накоплении нитратов. Не рекомендуется применять подкормки в период массового созревания корнеплодов и кочанов.

Исключительно важным приемом снижения (предотвращения) нитратного загрязнения сельскохозяйственной продукции является внесение достаточного количества полноценного органического удобрения (навоз, компосты, сидераты). Как свидетельствует опыт ряда стран, органические удобрения целесообразно вносить в сочетании с минеральными в соотношении 4:1. Например, в Голландии применение высоких доз минеральных удобрений, порядка 300 кг/га пахотных земель, на фоне 40 т/га органических удобрений не приводит к нитратному загрязнению. Навоз следует предварительно прокомпостировать с соломой или торфом и внести в почву с осени.

Перспективной альтернативой минеральному азоту в питании растений является биологический азот.

По расчетам академика Е. Н. Мишустина (1985), при посевной площади бывшего СССР, которая составляла 220 млн га, фиксация биологического азота в результате деятельности азотфиксирующих микроорганизмов достигает 7,5 млн т (около 3 млн т фиксируют азотфиксаторы — симбионты бобовых культур и 4,5 млн т — свободноживущие). Для сравнения следует отметить, что в 1976 г. химическая промышленность поставляла сельскому хозяйству в пересчете на азот 7,25 млн т азотных минеральных удобрений.

В настоящее время широко изучаются бактерии рода *Rhizobium*, их специфичность по отношению к отдельным бобовым культурам. С помощью методов генной инженерии ведутся поиски наиболее продуктивных штаммов. Исследуется также возможность использования ассоциативных азотфиксирующих бактерий, микоризы, а также различных комбинаций этих микроорганизмов, что зачастую оказывается намного более эффективным, чем применение любого из них в отдельности.

Для каждой сельскохозяйственной культуры и каждого сорта, а также различных почвенных условий реально подобрать специфическую комбинацию азотфиксирующих микроорганизмов, при которой процесс снабжения азотом будет протекать наиболее продуктивно. Посредством инокуляции эффективными азотфиксирующими микробиологическими препаратами можно повысить урожайность сельскохозяйственных культур без дополнительного внесения азотных минеральных удобрений.

Как уже говорилось, эффективность применения удобрений определяется сложным комплексом биотических и антропогенных факторов, среди которых существенное, а нередко и решающее значение принадлежит климатическим и погодным условиям. Учет агрометеорологических условий является важной предпосылкой оптимизации использования минеральных удобрений, а следовательно, способствует уменьшению вероятности загрязнения окружающей среды избыточными химическими веществами. Результаты фундаментальных исследований профессора А. П. Федосеева («Агротехника и погода», 1979; «Погода и эффективность удобрений», 1985) позволяют с успехом учитывать метеорологическую составляющую при решении задач химизации.

Параметры структуры и плотности почвы достаточно хорошо отражают условия жизни растений (комплекс физико-химических свойств почвы, доступность влаги, газообмен и биологические процессы).

Эффективность удобрений существенно варьирует в зависимости от типа и плотности почв, а также их увлажнения.

При внесении различных доз азотных удобрений увлажнение сказывается не только на абсолютных прибавках урожая зерна, но и на содержании в нем белка (рис. 11.3). Из данных рисунка следует, что в засушливые годы было получено лишь некоторое увеличение урожайности при малых дозах азотных удобрений (22 кг/га), в умеренно влажные годы — значительное увеличение при средних дозах (45 кг/га) и во влажные также значительное, но при высоких дозах (90 кг/га). Содержание белка в

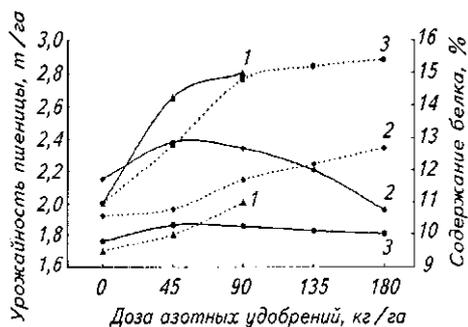


Рис. 11.3. Влияние азотных удобрений на урожайность и белковость пшеницы во влажный (7), умеренно влажный (2) и засушливый (3) годы (Schlesinger, 1970):

сплошные кривые — урожайность, штриховые — содержание в зерне белка

зерне при увеличении доз азотных удобрений во всех случаях возрастало и было наивысшим в сухие годы.

Как известно, для каждой почвенно-климатической зоны или агрохимического района опытным путем установлены средние нормы внесения органических и минеральных удобрений. Вместе с тем нельзя не учитывать, что эффективность удобрений, особенно азотных, значительно варьирует в зависимости от погодных условий, которые влияют как на количество доступных питательных веществ в почве, так и на их действие на растения. Чтобы определить оптимальные дозы удобрений, учитывают суммарное количество осадков за следующие периоды: *a* — с 1-го августа предыдущего года до декады перехода температуры воздуха через 5 °C осенью; *b* — с последующей декады после перехода температуры через 5 °C осенью до первой весенней декады, предшествующей переходу температуры через 5 °C. Данные, представленные на рисунке 11.4, позволяют в зависимости от количества осадков корректировать расчетные дозы азотных удобрений под запланированный урожай, вносимые при весенней вспашке или предпосевной обработке почвы. Вторая зона графика отражает условия увлажнения, при которых для получения запланированного урожая следует вносить принятые в данном районе (хозяйстве) средние дозы азотных удобрений с учетом предшественников, агрохимических свойств почвы,

состояния посевов и других факторов. Если числовое значение осенних и зимних осадков попадает в поле второй зоны графика, то поправка к установленным дозам азотных удобрений на условия увлажнения не вносится. Если точка, характеризующая количество осадков, ложится в поле первой зоны, то рекомендуется установленную по агрохимическим и агрономическим условиям дозу азота уменьшить. Если точка попадает в третью зону, установленную дозу для этих условий увлажнения увеличивают (но не выше определенного для заданного уровня урожайности верхнего предела дозы).

Рассчитанное на запланированный урожай количество фосфорных и калийных удобрений корректируют в соответствии с дозами азотных удобрений.

Если по прогнозу ожидается засушливое лето, соотношение между азотом, фосфором и калием изменяют в сторону увеличения доли фосфорно-калийных удобрений.

Эффективность подкормок посевов возделываемых культур в немалой степени зависит от особенностей складывающихся агрометеорологических условий. Учет этих особенностей позволяет

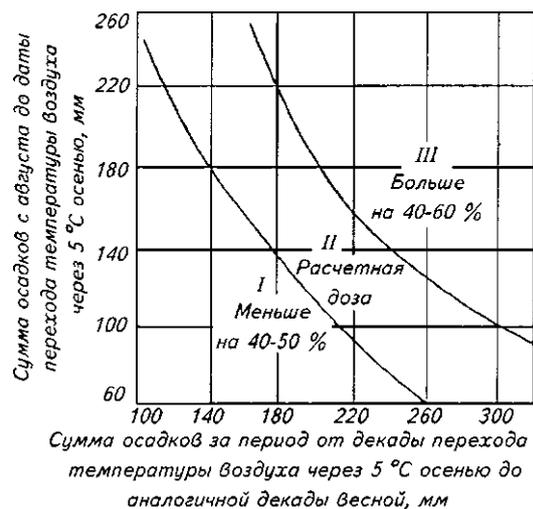


Рис. 11.4. Поправки для Нечерноземной зоны ЕЧС к установленным дозам азотных удобрений по фону $R_{40...80}K_{40...80}$ под ранние яровые колосовые культуры по занятым парам и непаровым предшественникам в зависимости от количества осадков за осенне-зимний период (Федосеев, 1985)

повысить целесообразность и экономическую эффективность использования удобрений.

Фосфорные удобрения. Используемые в сельском хозяйстве фосфорные удобрения представлены в основном наиболее легко усваиваемыми растениями водорастворимыми видами: суперфосфат и двойной суперфосфат, а также сложными удобрениями — аммофос, диаммофос, нитроаммофоска, карбоаммофоска.

Фосфор относится к важнейшим биогенным элементам. Хотя потребность живых организмов в фосфоре примерно в 10 раз меньше, чем в азоте, он не только является важным источником питания для растений, но и играет основную роль в процессах массо- и энергообмена, а также в процессе разложения.

Для создания условий, благоприятствующих получению полноценного урожая, необходимо наличие в почве достаточного количества доступного фосфора. Однако примерно 1/3 посевной площади России характеризуется низким и очень низким содержанием этого элемента, что создает наиболее серьезные проблемы в Нечерноземной зоне, поскольку здесь преимущественно распространены дерново-подзолистые почвы, отличающиеся низким природным плодородием. Кроме того, если дефицит азота можно компенсировать внесением органических удобрений или фиксацией атмосферного азота, то недостаток фосфора можно устранить только внесением минеральных удобрений. Обеспечение высокой потребности в фосфорных удобрениях является объективной необходимостью. При этом, однако, нельзя упускать из виду ряд природоохранных аспектов проблемы фосфорного питания.

С фосфорными удобрениями в почву попадают многочисленные токсичные элементы, малоподвижные в почвенной среде. Довольно высоким содержанием загрязняющих веществ отличается, например, суперфосфат (Barrows, 1966):

Примесь	Содержание, мг/кг
As	1,2...2,2
Se	0,0...4,5
Co	0...9

Ni	7...32
Си	4...79
Pb	7...92
W	20...180
Cd	50... 170
Cr	66...243
Zn	50...1430

Кроме того, в фосфорных удобрениях содержатся токсичные соединения фтора. Большая часть фосфора, используемого как удобрение, остается в почве, так как связывается с содержащимися в ней Ca, Al, Fe. Результаты проводившихся исследований свидетельствуют о наличии в природных фосфатах радиоактивных элементов — урана, радия. Согласно имеющимся оценкам, на 1 т P₂O₅ в некоторых фосфорных рудах приходится 30...40 кг ⁹⁰Sr.

По существующим кислотным способам переработки природного фосфатного сырья основная часть фтора (2...3 млн т), а также весь стронций остаются в удобрениях и попадают вместе с ними в почву. Длительное внесение суперфосфата, который обычно содержит 1,5 % F, приводит к быстрому накоплению в почве доступной для растений формы этого элемента. На Рамонской опытной станции отмечалось почти двукратное увеличение содержания фтора в удобряемой фосфатами почве по сравнению с контрольной. Физиологическая роль фтора в растениях изучена пока недостаточно. Он ингибирует активность ряда ферментов, что отрицательно сказывается на процессах фотосинтеза и биосинтеза белков.

По данным М. С. Коплан-Дикса и др. (1985), 665 тыс. т P₂O₅ из всего фосфора, используемого в земледелии Нечерноземной зоны, накапливается в водных объектах (рис. 11.5), в которые он поступает:

в результате потерь при транспортировке и хранении удобрений (34 % всех поступлений);

из-за поверхностного стока и вымывания из почв в растворенном виде и с продуктами эрозии (21 % всех поступлений);

вследствие «выпадения» фосфора из аграрного круговорота, обусловленного почти полным отсутствием утилизации органических веществ в коммунальном хозяйстве и снижением до 50%-го уров-

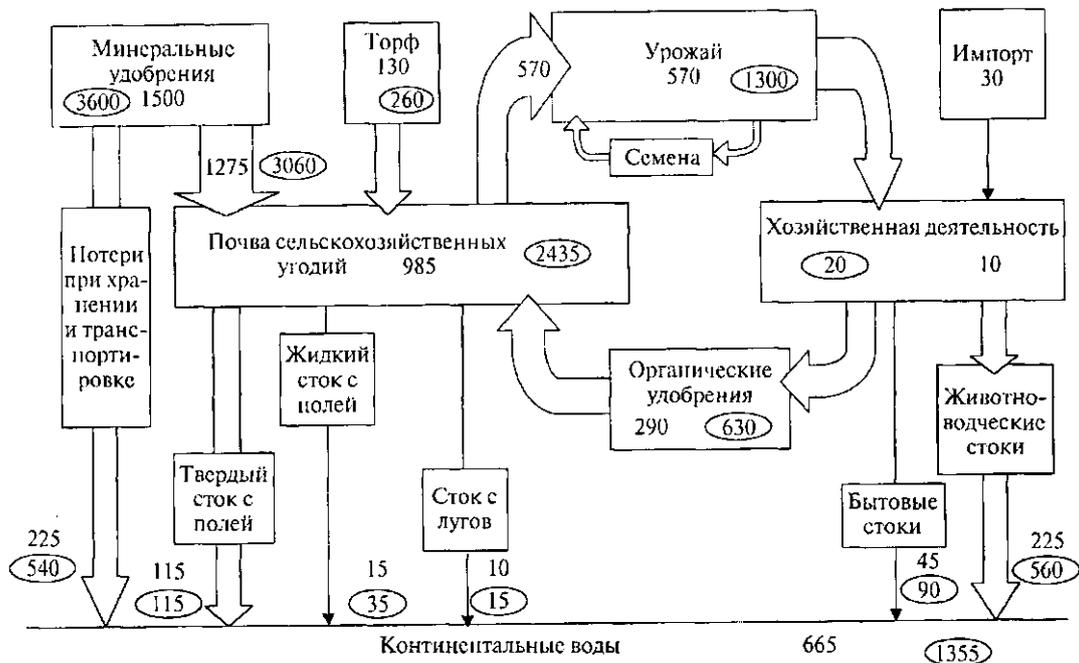


Рис. 11.5. Фактическое использование ресурсов фосфора в АПК Нечерноземной зоны России, тыс. т P_2O_5 в год и прогноз (цифры в овалах) на начало третьего тысячелетия (Коплан-Дикс, 1985)

ня утилизации органических веществ в животноводстве (45 % всех поступлений).

Увеличение содержания P_2O_5 в природных водах привело к эвтрофикации водных объектов: биомасса водорослей в ряде озер и водохранилищ в настоящее время превосходит валовую сельскохозяйственную продукцию в тех же регионах.

Установлено, что на 1 кг поступившего в водоемы фосфора образуется 100 кг фитопланктона, а когда концентрация фосфора в воде превысит 0,01 мг/л, начинается цветение воды, обусловленное массовым развитием водорослей, которое достигает оптимума при его содержании 0,9...3,5 мг/л (Минеев, 1990).

Цветение воды приводит не только к ухудшению условий непосредственного водопотребления, но и к увеличению содержания в ней органического вещества в растворимой форме, что объясняется увеличением рН воды при массовом развитии водорослей. С этим явлением связывают, в частности, вспышки

заболевания холерой Эль-Тор в 1970—1971 гг., охватившего 35 стран. Человек, как правило, избегает пользоваться водой цветущих водоемов, поскольку она существенно отличается по вкусу и запаху. Тем не менее использование в пищу рыбы, накапливающей в своих тканях токсины, приводит к серьезным заболеваниям. Животные же часто вынуждены пользоваться такой водой. Этим объясняются случаи массовой гибели крупного рогатого скота и других сельскохозяйственных животных в различных регионах мира.

Эвтрофирование водоемов удорожает очистку воды. Так, в 1985 г. ущерб от перерасхода коагулянта в системах водоочистки Днепровских водохранилищ составлял около 650 тыс. долл., а ущерб рекреации от цветения воды в этих водохранилищах оценивается примерно в 3 млн 900 тыс. долл. в год. При сохранении принятой в системе АПК транзитной системы использования фосфорных ресурсов и увеличении производства фосфорных удобрений доля непригодных для практических нужд водных

объектов может возрасти в 3...4 раза и достичь 24...32 % (Коплан-Дикс, 1985).

Учитывая различия в длительности естественного возобновления вод в природе (300 лет — для подземных вод, 3,5 года — для проточных озер, 0,5 мес — для речных вод), а также возможность поступления различных примесей, содержащихся в фосфорных удобрениях, в пищевые цепи, необходимо строго соблюдать апробированные рекомендации по внесению фосфорных удобрений и принимать во внимание следующие факторы:

сырьевые материалы, используемые в качестве удобрений;

предельно допустимые уровни загрязнения почв тяжелыми металлами, радионуклидами и другими токсичными элементами (соединениями), присутствующими в удобрениях;

необходимые операции по внесению фосфорных удобрений в почву (сроки проведения работ, месторасположение удобряемых площадей, наличие условий для проведения соответствующих работ), а также соблюдение экологических ограничений при фосфоритовании почв (табл. 11.3).

В качестве альтернативы следует рас-

сматривать переход от транзитной системы использования питательных веществ к циклической, а также применение фосфорсберегающих технологий.

Калийные удобрения. К наиболее распространенным калийным удобрениям относят хлорид калия, сульфат калия, сырые природные калийные соли, главным образом сильвинит, и др. Эти удобрения также могут отрицательно воздействовать на окружающую природную среду. Например, при переработке сильвинита образуются галитовые отвалы, глинисто-солевые шламы, а также пылегазовые выбросы. Солеотвалы занимают значительные площади и являются источником засоления почв и подземных вод. Под действием атмосферных осадков образуются рассолы, содержание солей в которых достигает 300 г/л. Они попадают в подземные воды, из которых в процессе испарения поступают в поверхностные слои почвы.

Сильное загрязнение вызывает продукт обогащения сильвинитовых руд — глинисто-солевые шламы. Их обычно захоранивают на глубине 20...40 м и окружают дамбами. В местах расположения таких «хранилищ» происходят заболачивание и засоление почв.

Калийные удобрения содержат и так называемые балластные элементы (С1, Na), которые могут накапливаться в почве при систематическом применении повышенных доз удобрений, снижая ее плодородие. Эти элементы попадают в грунтовые воды, повышая в них концентрацию солей. Так, по данным В. Г. Минеева (1990), в грунтовых водах поймы р. Оки концентрация С1 составляла 100 мг/л, Na — 15 мг/л, что превышает содержание этих элементов в почве и грунтовых водах Среднерусской возвышенности в среднем течении Оки по С1 в 10 раз, по Na — в 3 раза.

Увеличение содержания С1 в удобрениях, вносимых в дерново-подзолистую почву, в 4...5 раз повышает его концентрацию в соломе зерновых и сене клевера на 50...70 %, в клубнях картофеля и сене викоовсяной смеси — на 50...100 %. В пахотном слое почвы содержание С1 при этом возрастает на 60...290 % в зависимости от вида культуры, условий увлажнения и других факторов.

11.3. Экологические ограничения при фосфоритовании почв

Экологические ограничения	Способ контроля, источник информации
1. Запрещены все способы внесения фосфорных удобрений в почву на территории первого пояса зоны санитарной охраны источников хозяйственного водоснабжения	Визуальный контроль, анализ картографических материалов и проектно-сметной документации
2. Не допускается внесение фосфорных удобрений на территории второго пояса зоны санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения в период непосредственной угрозы паводка	Визуальный контроль, анализ картографических материалов и информации Гидрометеослужбы
3. Соблюдение предельно допустимых концентраций химических веществ в почве после проведения фосфоритования	Лабораторный контроль, ГОСТы, СПиН

Немалую опасность вызывают содержащиеся в калийных удобрениях металлы (Cd, Hg, Pb, Al), которые могут накапливаться в живых организмах, проникать в грунтовые воды и т. д. (табл. 11.4).

11.4. Содержание вредных примесей в калийных удобрениях, мг/кг (Кузина и др., 1982)

Удобрение	Pb	Cd	Al	Hg	Cr
KCl	6,5	0,2...0,3	1,3...7,7	—	—
K ₂ SO ₄	12,0	1,00	0,2	0,075	0,250
Сырая калийная соль	4,0	0,09	2,6	—	—
40%-ная калийная соль	4,5	0,16	4,1	—	—
KCl	6,5	0,2...0,3	1,3...7,7	-	-
K ₂ SO ₄	12,0	1,00	0,2	0,075	0,250
Сырая калийная соль	4,0	0,09	2,6	-	-
40%-ная калийная соль	4,5	0,16	4,1	-	-

При несбалансированном (по макроэлементам) питании наблюдаются накопление отдельных элементов в растениях и сдвиг минерального состава в нежелательную сторону. Так, соотношение K:Na часто превышает предельные для растительных кормов нормы (оптимальное соотношение K:Na = 5:1). Потребность животных в калии удовлетворяется при содержании его в траве 0,03...0,10% (на сухое вещество). Содержание K₂O в корме не должно превышать 2,5...3,0% (Минеев, 1990). Избыток K в пастбищной траве обостряет дефицит Na. Для поддержания здоровья скота концентрация Na в сухом веществе корма должна составлять не менее 0,25%.

В последнее время большое внимание уделяется содержанию в травах Mg. При снижении его уровня до 0,13...0,15% (на сухое вещество) животные заболевают гипомagneзией (травяная титания). Для обеспечения потребности животных в этом элементе достаточно 12...15 мг Mg на 1 кг их массы, если элемент поступает из корма.

Возрастает заболеваемость гипомagneзией и при нарушении соотношения макроэлементов в корме. Это имеет место, если

$K: (Ca + Mg) > 2,2...2,4$ и $K: Na > 6$. При отношении $K: (Ca + Mg) < 1,4$ случаев заболевания не отмечалось.

Вымывание калия зависит от типа водного режима, гранулометрического состава почв, содержания в них гумуса и запасов калия в почве. На величину потерь калия, как и других питательных

элементов, влияют также наличие растительного покрова, соблюдение агротехнических правил, нормы полива, кислотность почвы и рельеф местности. На дерново-подзолистых почвах Белоруссии, занятых паром, потери калия составили 4...6% от внесенного с удобрениями количества, на супесчаных — 6...8%. На красноземах и подзолистых почвах Грузии при орошении потери достигали 13...17%, а в дождливые годы (2820 мм осадков) — до 25%. На дерново-подзолистых почвах Подмоскovie, расположенных в местности с небольшим уклоном, в годы с глубоким промерзанием почвы талые воды смывали до 40...70% внесенного K (при позднеосеннем, зимнем и ранневесеннем внесении азотно-фосфорно-калийных удобрений). Грунтовые воды пойм крупных рек, на землях которых развито овощеводство, являются одним из основных источников загрязнения речных вод Cl^- и Na^+ .

Для предотвращения больших потерь K и загрязнения поверхностных и грунтовых вод калийные удобрения следует вносить под основную обработку почвы. Снижения потерь питательных элементов минеральных удобрений вследствие вымывания можно достичь как агротехническими, так и химическими способами. Среди последних представляет интерес применение медленнодействующих удобрений, питательные элементы которых усваивались бы растениями постепенно, в течение всего периода вегетации. Этого можно достичь с помощью капсулирования, покрытия синтетической оболочкой (смолы, парафины, полиэтилен и др.) или элементарной серой. Результаты экспериментов, проведенных выбывшей Чехословакии, показали, что благодаря покрытию удобрений полиэтиленовой оболочкой коэффициент использования калия кукурузой можно увеличить с 30 до 50%. Результаты проведенных в США опытов по применению капсулированных удобрений показали, что покрытие их винилацетатной оболочкой привело к снижению потерь калия с 86 до 30%, а покрытие туков парафином — до 5,4%. Однако данных для однозначных рекомендаций по вопросам

использования капсулированных удобрений пока недостаточно.

Следует обратить внимание и на следующие обстоятельства. В системе удобрений важное значение имеют органические удобрения. Но создать высокопродуктивные почвы только за счет органических удобрений невозможно. При достаточном количестве органических удобрений в хозяйстве баланс гумуса в почве может быть положительным. Однако обеспечение бездефицитного баланса фосфора и калия без применения минеральных удобрений достаточно проблематично. Кроме того, даже систематическое применение органических удобрений не позволяет добиться оптимального соотношения основных элементов питания в определенные периоды роста и развития, поскольку все культуры на первых фазах развития требуют обязательного наличия фосфора, озимые — весенней подкормки азотными удобрениями, многолетние травы — поукосного удобрения и т. д. Действие органических и минеральных удобрений на растения и почву различно. Питательные вещества из минеральных удобрений (особенно азотных и частично калийных) максимально используются растениями почти сразу же после их внесения, а из органических — постепенно, по мере минерализации органического вещества. Поэтому при необходимости быстрого воздействия на питание растений следует вносить минеральные удобрения. Если последние в основном улучшают питательный режим почвы, то органические удобрения наряду с этим обогащают ее гумусом, улучшают физико-химические свойства, увеличивают активность почвенной микрофлоры. Внесение органических удобрений в сочетании с минеральными превосходит по своей эффективности воздействие эквивалентного количества питательных веществ применяемых раздельно органических или минеральных удобрений. Только использование органо-минеральной системы удобрений в сочетании с другими агротехническими и биологическими приемами создает надежную основу для повышения плодородия почв, рос-

та урожайности сельскохозяйственных культур, регулирования качества продукции и минимизации отрицательного воздействия на окружающую природную среду.

11.2. ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

У проблемы защиты посевов и посадок возделываемых культур от болезней, вредителей и сорняков длительная и поучительная история. По-видимому, первые практические рекомендации по борьбе с болезнями были разработаны в 460 г. до н. э. Демокритом, который советовал замачивать семена злаков перед посевом в соке заячьей капусты, чтобы уберечь растения от поражения головней. В средние века церковь пыталась в судебном порядке «защитить» крестьян от нашествия насекомых-вредителей и возбудителей болезней растений. В 1479—1481 гг. в Швейцарии «судили» майских жуков, а в 1585 г. — вредителей виноградников. И хотя «преступники» были приговорены к изгнанию и преданы анафеме, посевы и виноградники продолжали страдать от их набегов... В период с 1845 по 1869 г. в Ирландии умерло около 1 млн человек и 500 тыс. эмигрировало в другие страны из-за голода, вызванного гибелью картофеля от болезни, вызываемой грибом фитофтора инфестанс. В 1880 г. на Цейлоне (сейчас — остров и государство Шри-Ланка) погибли кофейные деревья. Виновиком этого грустного события оказался гриб — возбудитель ржавчины. С тех пор и по сегодняшний день на острове вместо кофе выращивают знаменитый цейлонский чай. Фактически начало целенаправленным исследованиям по химической защите растений от болезней было положено в 1882 г. Дело было так. Один французский виноградарь по фамилии Пруст, чтобы защитить свои виноградники, растущие вдоль дороги, от набегов проказливых мальчишек и других любителей полакомиться чужим виноградом, опрыскал лозы смесью медного купороса с известью. И действительно, боясь отравиться, никто не трогал покрытых голубым налетом ягод. Случилось так, что по

этой дороге проезжал некий господин Милларде, изучавший ложную мучнистую росу винограда — милдью. Он обратил внимание на то, что листья на лозах у Пруста целехонькие, а у соседа напротив полностью осыпались. И ему пришлось в голову, что листья сохранились благодаря обработке «ядовитой» жидкостью из медного купороса и извести. Это была счастливая мысль. Милларде разработал точную рецептуру этой смеси и организовал ее производство и широкомасштабное применение. Так была открыта бордоская жидкость — прекрасное средство против многих заболеваний растений, с успехом применяющаяся и в наши дни.

Уже более 100 лет химические средства защиты растений играют важную роль в борьбе с возбудителями болезней, насекомыми-вредителями и сорной растительностью. Наибольшее распространение этот способ борьбы получил после второй мировой войны. Необходимость такой борьбы достаточно очевидна, если учесть, что вызываемые ими потери урожая, как свидетельствуют данные, представленные в таблице 11.5, составляют в настоящее время от 23,9 до 46,4%.

11.5. Потери урожая сельскохозяйственных культур в мировом земледелии (Соколов и др., 1994)

Культура	Потери урожая, %, от			
	вредителей	болезней	сорняков	итого
Пшеница	5,0	9,1	9,8	23,9
Кукуруза	12,4	9,4	13,0	34,8
Просо, сорго	9,6	10,6	17,8	38,0
Рис	26,7	8,9	10,8	46,4
Хлопчатник	11,0	9,1	4,5	24,6
Соя	4,5	11,1	13,5	29,1
Картофель	6,5	21,8	4,0	32,3
Томаты	7,5	11,6	5,4	24,5

Представление о потенциальных потерях урожая сельскохозяйственных культур в Российской Федерации дают данные, приведенные в таблице 11.6.

11.6. Потенциальные потери урожая сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 1956—1990 гг. из-за болезней, вредителей и сорняков (по расчетам В. А. Захаренко; Соколов и др., 1994)

Культура	Площадь, тыс. га	Валовой сбор, млн т	Потенциальные потери							
			% от валового сбора				млн т			
			всего	вредители	болезни	сорняки	всего	вредители	болезни	сорняки
Зерновые	60,3	104,3	25,0	6,0	8,4	10,6	26,1	6,3		11,0
Сахарная свекла	1,47	32,9	24,5	8,0	8,3	8,2	8,1	2,6	2,7	2,8
Подсолнечник	2,15	3,12	25,0	8,0	9,0	8,0	0,78	2,5	0,8	0,25

По оценкам ФАО (1989), каждый год от насекомых-вредителей, болезней растений и сорняков мировое сельское хозяйство несет убытки в 75 млрд долл. По расчетам В. А. Захаренко, в 1986—1990 гг. потенциальные потери урожая в Российской Федерации составляли (в сопоставимых ценах 1983 г.) в среднем 7,66 млрд руб. в год.

Потенциальные потери урожая в России достигают 71,3 млн т зерновых единиц. При этом на долю возбудителей болезней приходится 45,1 % потенциальных потерь, сорных растений — 31,4% (без учета затрат на механические способы борьбы) и вредителей растений — 23,5 % (Соколов М. С. и др., 1994).

В США в 1900 г. один среднестатистический фермер обеспечивал продуктами питания 7 человек, в 1970-м — 46, а в 1980-м — 55 (причем в последние 10 лет рост этого показателя был обусловлен исключительно применением химических средств защиты растений — ХСЗР). Подсчитано, что если в США прекратить применение ХСЗР, то для сохранения валового сбора зерна на прежнем уровне потребуется дополнительно распахать 52 млн га; при этом стоимость продукции растениеводства возрастет (из-за снижения производительности труда) на 50...70 %.

В связи с этим вполне закономерно, что к началу 80-х годов мировое производство ХСЗР составляло 2,3...2,5 млн т. В стоимостном же выражении мировое потребление ХСЗР оценивалось в 1986 г. в 17,5 млрд долл. Из общего количества производимых во всем мире препаратов США и Канада использовали 33 %, страны Западной Европы — 25, страны Юго-Восточной Азии — 22, страны Восточной Европы (включая Россию) — 10, страны Латинской Америки — 9, Австралия и Новая Зеландия — 1 %. На 1 га посевов в Италии ис-

Продолжение

Культура	Площадь, тыс. га	Валовой сбор, млн т	Потенциальные потери							
			% от валового сбора				млн т			
			всего	вредители	болезни	сорняки	всего	вредители	болезни	сорняки
Лен	0,496	0,124	11,5	3,5	5,8	11,0	0,028	0,0004	0,01	0,014
Картофель	3,324	35,9	31,5	5,0	20,0	6,5	11,3	1,8	7,2	2,30
Овощные	0,725	11,17	20,2	7,0	15,0	7,2	3,3	0,8	1,7	0,80
Фруктовые и ягодные	0,754	1,96	29,0	10,0	11,0	7,0	0,57	0,21	0,22	0,14
Виноград	0,172	0,93	34,2	5,22	22,0	7,2	0,32	0,05	0,20	0,07
Кормовые (в пересчете на сено)	42255	84,51	15,0	5,0	5,0	5,0	12,68	4,22	4,22	4,22

пользуют 21 кг ХСЗР, в Японии — около 16, в других развитых странах Западной Европы — в среднем 2...3, в республиках бывшего СССР — от 0,6 (Эстония) до 13,2 (Молдавия), а во всем мире — в среднем 0,3...0,4 кг/д. в. на 1 га (Соколов и др., 1994).

Общепринятое собирательное название химических средств защиты растений — «пестициды» (лат. *pestis* — зараза и *saedo* — убиваю). По разным оценкам, в последние годы в мире насчитывается более 1000 химических соединений, на основе которых выпускают десятки тысяч препаративных форм пестицидов. Обычно пестициды классифицируют по их целевому назначению. Наиболее часто применяют следующие из них: гербициды — для борьбы с сорными растениями; инсектициды — с вредными насекомыми; фунгициды — с грибными болезнями растений и различными грибами; зооциды — с вредными позвоночными; родентициды — с грызунами; бактерициды — с бактериями и бактериальными болезнями растений; альгициды — для уничтожения водорослей и сорной растительности в водоемах; дефолианты — для удаления листьев и ботвы; десиканты — для подсушивания листьев перед уборкой; ретарданты — для торможения роста растений и повышения устойчивости стеблей к полеганию и др.

Пестициды можно классифицировать также по составу и химическим свойствам. Наиболее распространенные: хлорорганические пестициды — галоидопроизводные полициклических и ароматических углеводородов, углеводородов алифатического ряда; фосфорорганические пестициды — сложные эфиры фосфорных кислот; карбаматы — производные карбаминовой,

тио- и дитиокарбаминовой кислот; азотсодержащие пестициды — производные мочевины, гуанидина, фенола.

Пестициды подразделяют также по стойкости в окружающей среде или по способности к биоаккумуляции. Эти свойства обусловлены химической структурой и физико-химическими особенностями препаратов. Наиболее стойкими и одновременно обладающими четко выраженными кумулятивными свойствами являются хлорорганические пестициды, для которых наиболее характерно концентрирование в последующих звеньях пищевых цепей.

По устойчивости к разложению в почве пестициды делят на очень стойкие (время разложения на нетоксичные компоненты составляет свыше 2 лет); стойкие (от полугодия до 2 лет); умеренно стойкие (до 6 мес); малостойкие (1 мес). Об устойчивости некоторых представителей одной из групп пестицидов можно судить по данным, представленным в таблице 11.7.

11.7. Устойчивость хлорорганических инсектицидов в почвах (Nash, Woollen, 1967)

Инсектицид	Относительное содержание, %	
	Через 14 лет	
г х г		10
Гептахлор		16
Хлордан		40
Элдрин		40
Эндрин		41
Токсафен		45
	Через 15 лет	
Элдрин		28
Диэлдрин		31
	Через 17 лет	
ДДТ		39

Большинство пестицидов относится

к синтетическим химическим соединениям — ксенобиотикам, т. е. веществам, чуждым биосфере (гр. *xenos* — чужой). Эти продукты еще до сравнительно недавнего времени отсутствовали на планете, что осложняет процесс их детоксикации. При возрастающих объемах применения пестицидов их остатки или продукты метаболизма могут накапливаться в объектах окружающей природной среды, мигрировать по пищевым цепям и вызывать нежелательные последствия, негативно влияя на качество питьевой воды, и т. д. (рис. 11.6 и 11.7). К особенностям использования пестицидов в сельском хозяйстве относятся их циркуляция в биосфере, высокая биологическая активность, необходимость применения значительных локальных концентраций, вынужденный контакт населения с пестицидными препаратами. Накапливаясь в почвах, растениях, животных, пестициды могут вызвать глубокие и необратимые нарушения нормальных циклов биологического круговорота веществ и снижение продуктивности почвенных экосистем.

Подавляющее число пестицидов — кумулятивные яды, токсичное действие которых зависит не только от концентрации, но и от длительности воздействия. Так, в процессе биоаккумуляции происходит многократное (до сотен тысяч раз) повышение концентрации пестицида по мере продвижения его по пищевым цепям (рис. 11.8).

В процессе биотрансформации пестицидов наряду с детоксикацией имеет место и токсификация, т. е. образование веществ, обладающих высокой токсичностью. Мерой токсичности является доза, т. е. количество вещества, достаточное для отравления. Токсичность пестицидов обычно сравнивают сопоставлением минимальных доз, вызывающих смертность 50 % подопытной группы организмов; эти дозы обозначают символом ЛД⁵⁰.

По токсичности для человека и теплокровных животных пестициды делятся на:

сильнодействующие — ЛД⁵⁰ до 50 мг/кг живой массы (бромистый метил и др.);
высокотоксичные — ЛД⁵⁰ до 200 мг/кг (базулиндрид);

среднетоксичные — ЛД⁵⁰ до 1000 мг/кг (медный купорос и др.);

малотоксичные — ЛД⁵⁰ более 1000 мг/кг (бордоская жидкость, витавакс, диален, неорон, сера и др.).

В настоящее время разработаны математические методы, позволяющие прогнозировать опасность того или иного пестицида в агроэкосистеме.

Наряду с приведенной классификацией пестицидов по токсичности существует их комплексная гигиеническая классификация, разработанная НИИ гигиены и токсикологии пестицидов, которая основана на учете всех реальных проявлений опасности пестицида (степень летучести, кумуляция, стойкость во внешней среде, возможность проявления отдаленных последствий для биоты и человека и т. д.). Класс опасности препарата в данном случае определяется на основании лимитирующего критерия, т. е. того отрицательного свойства пестицида, от которого в первую очередь может зависеть возможность возникновения нежелательных последствий. По степени комплексного воздействия на организм пестициды подразделяют на четыре класса: I — чрезвычайно опасные; II — высокоопасные; III — умеренно опасные; IV — малоопасные. Разработана шкала экотоксикологической оценки пестицидов, включающая систему критериев, среди которых токсиколого-гигиенические — оценка по нормативам, воздействие на органолептические свойства, летучесть (упругость паров), токсичность для теплокровных животных и человека (ЛД⁵⁰, мг/кг), а также способность к кумуляции в их организме (коэффициент бионакопления); эколого-агрохимические — персистентность в почве (мес), миграция по почвенному профилю (см), транслокация в культурные растения, фитотоксическое действие через почву, реакция на действие инсоляции; экотоксикологические — коэффициент избирательности действия. В упрощенном виде эта шкала представлена в таблице 11.8. В соответствии с оценочными баллами (баллы опасности), адекватными каждому из критериев, можно получить экотоксикологический индекс.

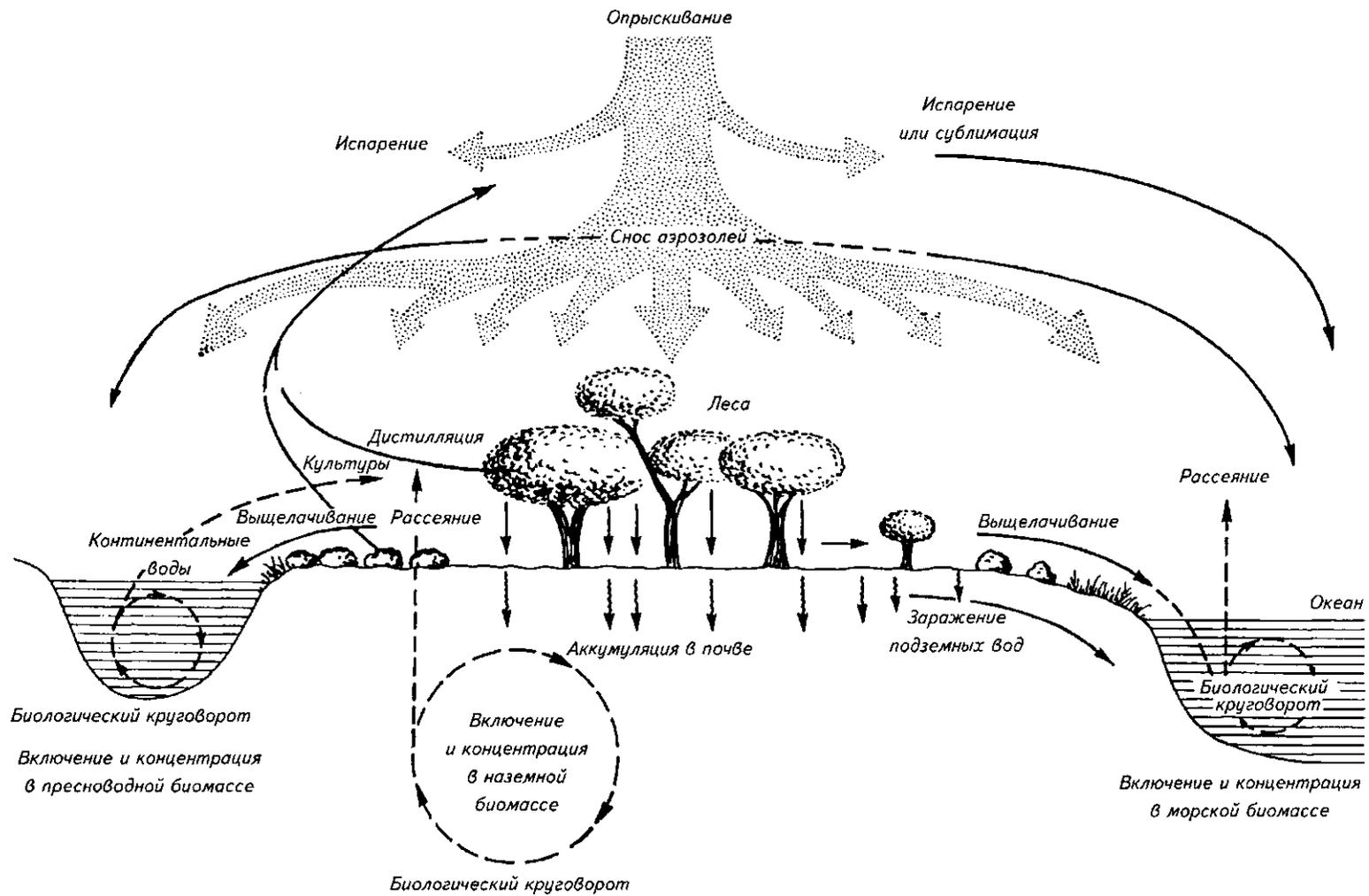


Рис. 11.6. Движение пестицидов в биосфере. Значительная часть пестицидов, не достигая обрабатываемой территории, сносится и оседает в более или менее удаленных экосистемах. Некоторая часть сублимируется в воздухе и переносится в самые отдаленные зоны океана. В континентальной среде они также включаются в наземную и пресноводную биомассу (Rudd, 1971, цит. по Рамад, 1981)

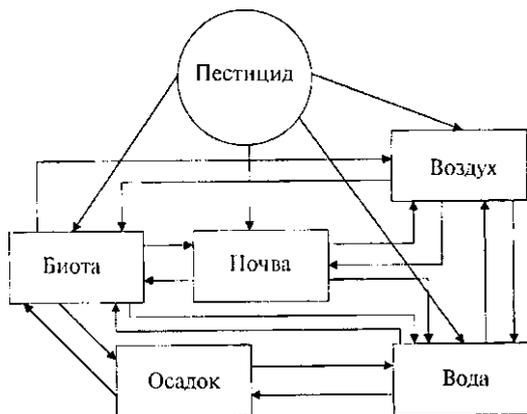


Рис. 11.7. Накопление и миграция остаточных количеств пестицидов в окружающей среде (Лунев, 1992)

11.8. Балльная система экотоксикологической оценки пестицидов (по М. С. Соколову и М. А. Глазовской) (Лозановская и др., 1998)

Показатель вторичного эффекта пестицидов	Баллы*
Персистентность в почве, мес:	
менее 1	2
1...6	4
6...24	6
более 24	8
Влияние на процессы ферментации и биологическую активность почвы:	
не оказывает влияния	0
влияет на отдельные процессы и популяции	1
влияет на многие процессы и популяции	2
Выщелачивание по профилю почвы, см:	
не мигрируют	0
мигрируют до 15	1
мигрируют до 50	2
мигрируют глубже 50	3

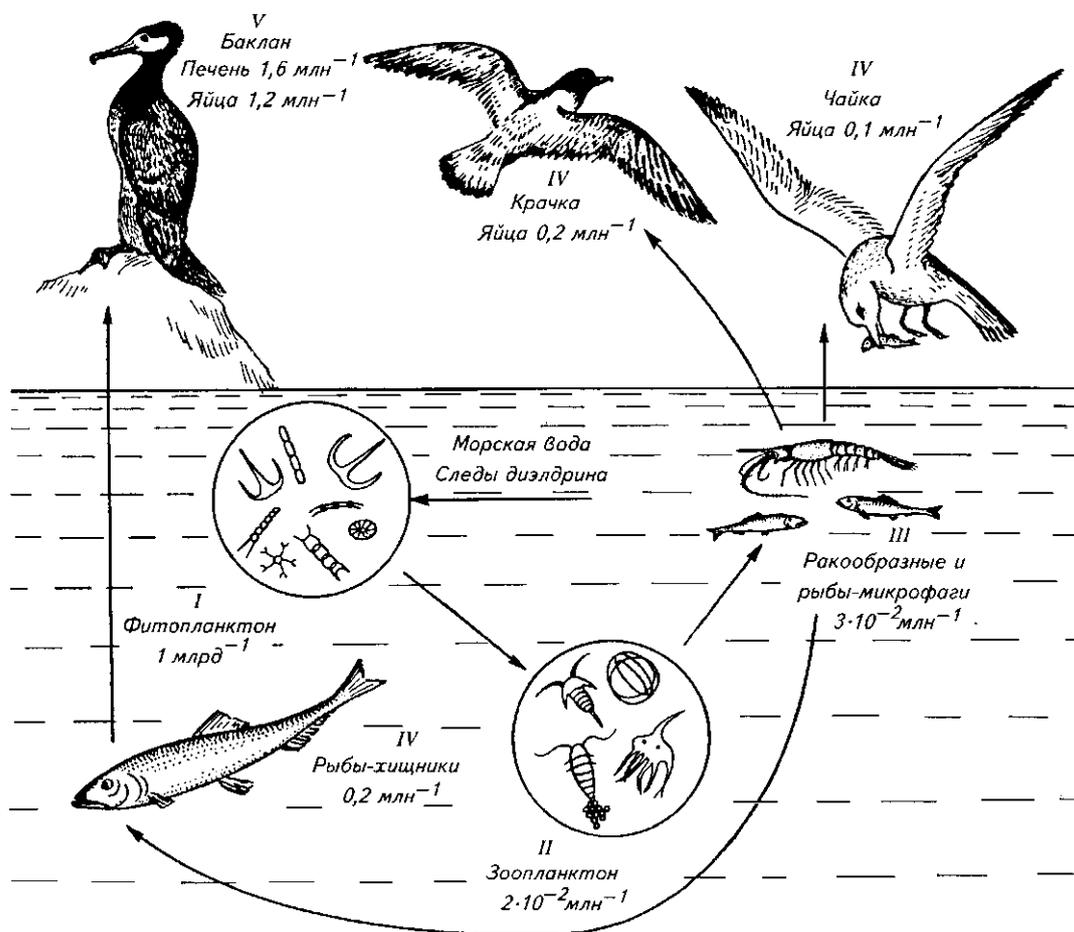


Рис. 11.8. Схема механизмов прогрессирующего накопления инсектицида дieldрина в пищевых цепях морских организмов (Рамад, 1981)

Продолжение

Показатель вторичного эффекта пестицидов	Баллы*
Перемещение из почвы в культивируемые растения и фитотоксичное воздействие:	
не абсорбируются растениями	0
абсорбируются, но не имеют вторичного воздействия	1
абсорбируются и снижают качество урожая	2
абсорбируются, снижают качество и количество урожая и оказывают фитотоксичное воздействие на культуры	3
Реакция на фотолиз:	
разлагаются фотохимически	0
устойчивы к фотохимическому разложению	1
Оценка по предельно допустимым концентрациям, мг/кг	
а) в сельскохозяйственной продукции:	
более 1	0
1...0Д	1
0,1...0,01	2
менее 0,01	3
0	4
б) в воде:	
более 1	0
1...0.1	1
0,1...0,01	2
менее 0,01	3
0	4
Воздействие на органолептические свойства:	
а) сельскохозяйственной продукции:	
не воздействуют	0
воздействуют	1
б) питьевой воды, допустимая концентрация, мг/кг:	
более 0,1	0
0,1...0,01	1
0,01...0,001	2
менее 0,001	3
Летучесть:	
соединения не улетучиваются	0
улетучиваются, но концентрация насыщения ниже максимально допустимого предела	1
то же, но концентрация насыщения равна максимально допустимому пределу	2
то же, но концентрация насыщения равна пределу токсичности	3
Токсичность для холоднокровных животных (ЛД ⁵⁰), мг/кг:	
более 1001	1
200...1000	2
50...200	3
менее 50	4
Способность накапливаться в организме теплокровных животных, коэффициент бионакопления:	
более 5	0
3...5	1
1...3	2
менее 1	3

* Суммарное количество баллов по всем показателям: 21 и более — очень токсичные препараты, 21...14 среднетоксичные, 13 и ниже — относительно слаботоксичные препараты.

Итак, с одной стороны, применение пестицидов является важным фактором увеличения производства продукции. С другой же стороны, обнаружилось, что в результате их использования вредителей, болезней и сорняков не стало меньше. Более того, появились новые конкуренты человека в борьбе за урожай: насекомые, которые раньше не имели значения для сельского хозяйства; болезни растений, на которые прежде не обращали внимания; сорняки, считавшиеся редкими, а иногда даже экзотическими видами. Странные на первый взгляд изменения происходят и в окружающей среде. Птицы начинают нести яйца с очень тонкой и мягкой скорлупой; в водоемах погибает рыба; все меньше становится птиц (особенно хищных — одного из конечных звеньев в пищевых цепях) и мелких животных, питающихся насекомыми, а последние, наоборот, появляются в огромных количествах и т. д. Например, тетранижовые растительноядные клещи (черномородиновый клещ и др.) до применения ядохимикатов встречались редко, а сейчас на борьбу с ними приходится затрачивать значительное количество производимых пестицидов. Известно, что до 50-х годов основными вредителями хлопчатника были хлопковый долгоносик и коробочный червь. После широкого применения ДДТ, токсафена и других препаратов массовое распространение получили хлопковая совка, табачная листовертка, табачная тля, паутинный клещ и пяденица, численность которых после подавления первых двух видов заметно возросла.

Как обоснованно отмечает Г. Л. Тышкевич (1987), отрицательные последствия, связанные с пестицидами, обусловлены главным образом разрушением биогеоценозов, в которых само существование и численность отдельных видов животных тесно связаны между собой. Пестицид, уничтожая вредителя, разрушает связи, благодаря которым численность данного вредителя поддерживалась в естественных условиях на определенном уровне. И если у такого вредителя возникает устойчивость к применяемым препаратам, то происходит вспышка (массовое его развитие), поскольку связи, сдерживающие этот

процесс, либо разорваны, либо ослаблены. Наряду с паразитами и хищниками есть и симбионты, т. е. растения или животные, без которых организм не может нормально существовать. Так, у насекомых на каждой стадии развития (яйцо, личинка, куколка, взрослая форма) имеются свои враги и симбионты. Очевидно, что из-за неизбирательности своего действия пестицид не может полностью избавить растения от того или иного вредителя. Немногочисленные же оставшиеся особи уже будут менее восприимчивы к токсиканту, а ослабление и разрыв остальных связей (что фактически и происходит) во многих случаях ведут к резкому последующему увеличению численности вредителей.

Значительны потери из-за уничтожения пестицидами насекомых-опылителей, опыляющих около 80 % всех цветковых растений. Ущерб только от гибели пчел составил более 2 млрд руб. (в

ценах 1985 г.). Причем доказано, что гибель насекомых резко возросла не только из-за непосредственного отравления гербицидами, но и потому, что пчелы, прилетевшие с участков, на которых проводилась обработка химикатами, имели другой запах и изгонялись из ульев. Так, в Калифорнии (США) при авиаобработках посевов пестицидами погибает до 10...20% пчелиных семей. Аналогичные ситуации были отмечены в Болгарии и Польше. При обследовании погибших от пестицидов пчелиных семей в Краснодарском крае установлено, что в первую очередь гибнут сильные семьи, поскольку они посещают большее количество растений и на более удаленных участках (рис. 11.9).

После освобождения с помощью гербицидов от сорняков «первого поколения» поля заселяют более устойчивые к ним виды, которые прежде были редкими (полевой хвощ, мать-и-мачеха, лисохвост, овсюг, пырей и др.).

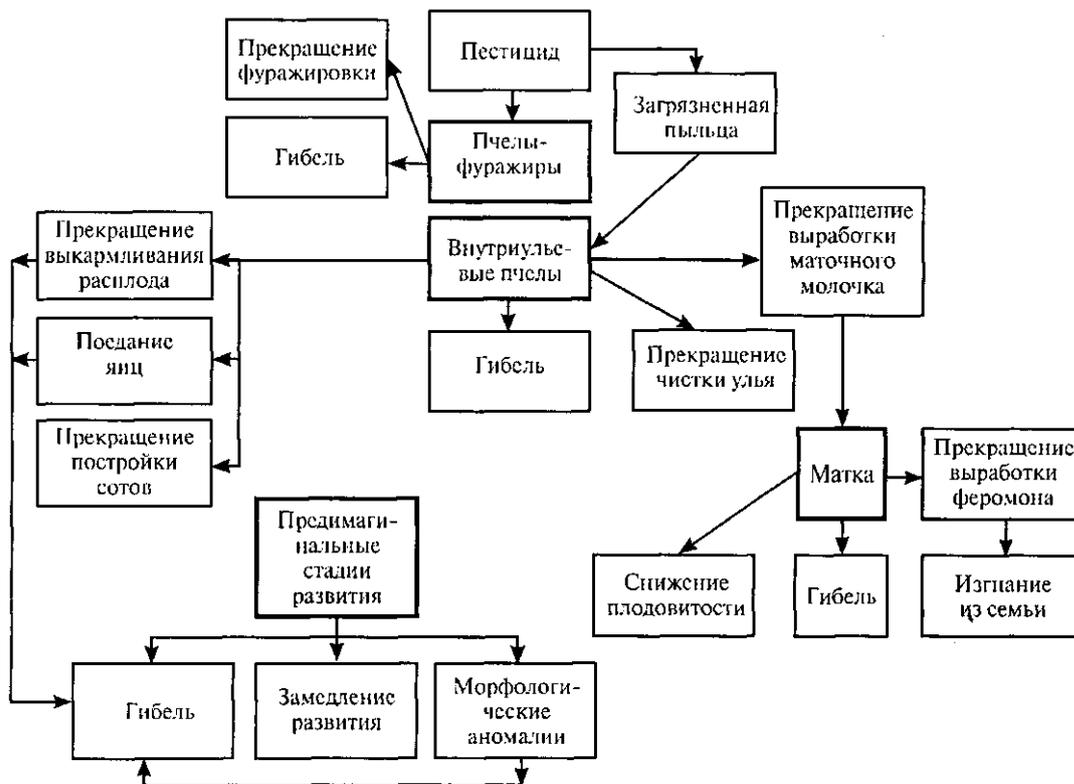


Рис. 11.9. Влияние пестицидов на жизнедеятельность пчелиной семьи (Еремина и др., 1992)

В середине 70-х годов в результате отравления пестицидами на территории бывшего СССР ежегодно погибало около 40 % лосей, кабанов и зайцев, более 77 % боровой дичи, уток и гусей и более 30 % рыб в пресных водоемах.

Представляют интерес статистические данные, согласно которым в 1938 г. было известно всего 7 видов насекомых-вредителей, устойчивых к пестицидам, однако к 1984 г. резистентность (от лат. *resistere* — сопротивляться) к одному и более акарицидам или инсектицидам отмечена уже почти у 450 видов, т. е. у значительной части наиболее известных вредителей (или почти у 10% считающихся вредными видов насекомых). Зарегистрировано более 150 фитопатогенных организмов, 50 видов сорняков и 10 видов мелких млекопитающих и нематод, устойчивых к пестицидам. С учетом же кроссрезистентности (перекрестная резистентность, при которой повышенная устойчивость к действию одного препарата сопровождается устойчивостью к соединениям других химических классов) общее число зарегистрированных случаев резистентности превышает 1600. Разумеется, резистентность полезных для человека видов — положительный факт. (В связи с приобретением резистентности уместно напомнить об «эффекте царя Митридата», который, по преданию, приучил себя малыми дозами к мышьяку и безнаказанно пил на пирах отравленное вино со своими врагами...)

Характеризуя возможные ситуации, связанные с применением пестицидов, следует помнить, что они всегда отрицательно влияют на обитателей почв, жизнедеятельность которых лежит в основе поддержания почвенного плодородия. В частности, пестициды (особенно медьсодержащие) угнетают процесс нитрификации. Известны случаи, когда в результате чрезмерной химической нагрузки на почву доминирующее положение в ней занимали фитопатогенные микроорганизмы. При интенсивном использовании пестицидов отмечается стерилизация почвы (например, в некоторых районах Индии и Индонезии при выращивании сахарного тростника). Считается (Соколов и др., 1994), что гербициды (в зависимости от применяе-

мой дозы) воздействуют на микробиоценоз, нарушая гомеостаз (устойчивое колебание вокруг определенного среднего уровня численности отдельных групп или активности метаболических процессов), вызывая стресс (обратимая депрессия, или временное угнетение жизнедеятельности), изменяя резистентность и индуцируя смену доминантных форм, а также обуславливая репрессии (необратимая реакция). При этом, если микробиологическая деятельность (численность и видовой состав) восстанавливается в течение 60 сут после воздействия, реакция микробиоценоза считается обратимой; если ингибирование определенных форм микроорганизмов не менее чем на 50 % сохраняется до конца вегетационного периода, реакция считается необратимой.

При использовании гербицидов на фоне отсутствия или слабого развития травяного покрова многократно увеличивается вероятность развития процессов эрозии почвы.

Вода — основной компонент биосферы и незаменимый фактор существования биоты — является основным транспортным средством для пестицидов. Почвенные и грунтовые воды, внутренние водоемы и водотоки, а затем и Мировой океан при наличии определенных условий становятся конечными пунктами сосредоточения токсикантов. Регулярное применение больших количеств стойких липофильных пестицидов на обширных территориях (немалая часть которых, как правило, — площади водосбора) непременно становится причиной загрязнения водоемов. Токсиканты перемещаются с жидким и твердым стоками. Загрязнение поверхностных вод пестицидами происходит из-за прямого поступления в результате аварий, а также при нарушении правил транспортировки и хранения препаратов, при сносе аэрозолей или паров пестицидов в процессе их применения, в процессе стока поверхностных или дренажных вод с угодий, обработанных пестицидами. По данным КаспНИРХа, в нижнем течении Волги и ее дельте содержание ядохимикатов иногда превышает ПДК в тысячи раз, особенно на участках, прилегающих к местам сброса дренажных вод с возделываемых полей.

В результате многолетних наблюдений за оросительными системами на площадях, занятых на Кубани рисом, установлено (Соколов и др., 1994), что широко применяемые на посевах риса среднетойкие гербициды со сбросными водами из оросительных систем поступали в Ахтаро-Гривенскую систему лиманов Азовского моря. С возвратными водами перенос осуществлялся на расстояние порядка 100 км. Миграция ксенобиотиков происходила преимущественно в форме твердого стока, т. е. в сорбированном илистыми частицами состоянии. В условиях мелководья лиманов и слабого течения взвешенные частицы откладываются в начале акватории, образуя обширные (протяженностью до нескольких километров) загрязненные зоны. Исчезновение гербицидов из грунтовых вод и донных осадков происходит очень медленно.

Мировая практика применения пестицидов свидетельствует о том, что они несут в себе потенциальную опасность. Нетоксичных для человека пестицидов нет. При определенных условиях, связанных в первую очередь с теми или иными нарушениями регламентов, а также правил хранения и применения препаратов, существует вероятность аллергических, гонадотоксических, канцерогенных, кожно-резорбтивных, мутагенных или бластоогенных, тератогенных, эмбриотоксических и эмбриотропных воздействий на людей, отравлений их сильнодействующими ядовитыми веществами.

Многообразие различных негативных проявлений, вызванных прямым и косвенным воздействием применяемых пестицидов, закономерно приводит к необходимости осмысления формирующихся при этом причинно-следственных связей и зависимостей с экологической точки зрения. В этой связи несомненный интерес представляют формулы Мура (Моог, 1967). Как отмечает исследователь, принято считать, что действие пестицидов происходит по схеме:

Пестициды —> Вредители, болезни, сорняки ± Несколько «вторичных эффектов».

Фактический же процесс воздействия используемых препаратов подчиняется иной схеме:

Пестициды -> Вся экосистема.

Очевидно, что исходная предпосылка является абсолютно ошибочной со всеми вытекающими отсюда последствиями. Любой пестицид, будучи вредным в экосистему, неизбежно вызывает в ней глубокие изменения. Действие пестицидов никогда не бывает однозначным. Исходя из присущей всем пестицидам совокупности свойств, можно констатировать следующее:

для пестицидов, как правило, характерен широкий диапазон токсического действия на живое вещество биосферы; очевидно, что общепринятые названия — гербициды, инсектициды, фунгициды и т. д. — не дают достаточного представления о возможном реальном воздействии этих веществ на природные комплексы и их компоненты;

пестициды чрезвычайно токсичны для животных и человека;

подавляемые формы в любом агроценозе составляют не более доли процента от общего числа видов (в биосфере максимум 0,5 %); при применении же пестицидов поражаются не только объекты подавления, но и множество других видов, не являющихся мишенями действия, в том числе естественные враги и паразиты подавляемых форм;

пестициды всегда применяются против популяций;

действие пестицидов не зависит от плотности популяции, но их применяют только тогда, когда численность популяции объекта подавления достигает высоких значений;

руководствуясь ошибочным пониманием надежности обработки полей, угодий, акваторий, как правило, преднамеренно расходуют значительно большее количество препаратов, чем необходимо для уничтожения вредителя;

мизерность «целевого» попадания используемых препаратов (инсектициды и фунгициды — около 3 %, гербициды — 5...40% от применяемого количества), короткие сроки «целевого» действия (1—2 % общего времени нахождения в окружающей среде);

остаточные количества пестицидов аккумулируются и биоконцентрируются в пищевых (трофических) цепях;

имеет место вынос остаточных количеств пестицидов за пределы обрабатываемой территории;

появляются резистентные к пестицидам формы вредных организмов;
гибнут некоторые полезные организмы и происходят глубокие нарушения взаимосвязей в биоценозах;
возрастает вероятность отдаленных последствий, связанных с патологическим и генетическим действием ряда препаратов на биоту.

Вышеприведенные суждения наглядно подтверждают и развивают материалы рисунка 11.10, характеризующие особенности формирования и проявления демоэкологических и биоценологических эффектов под воздействием пестицидных нагрузок. Происходящие изменения ведут в конечном счете к снижению биотического потенциала и

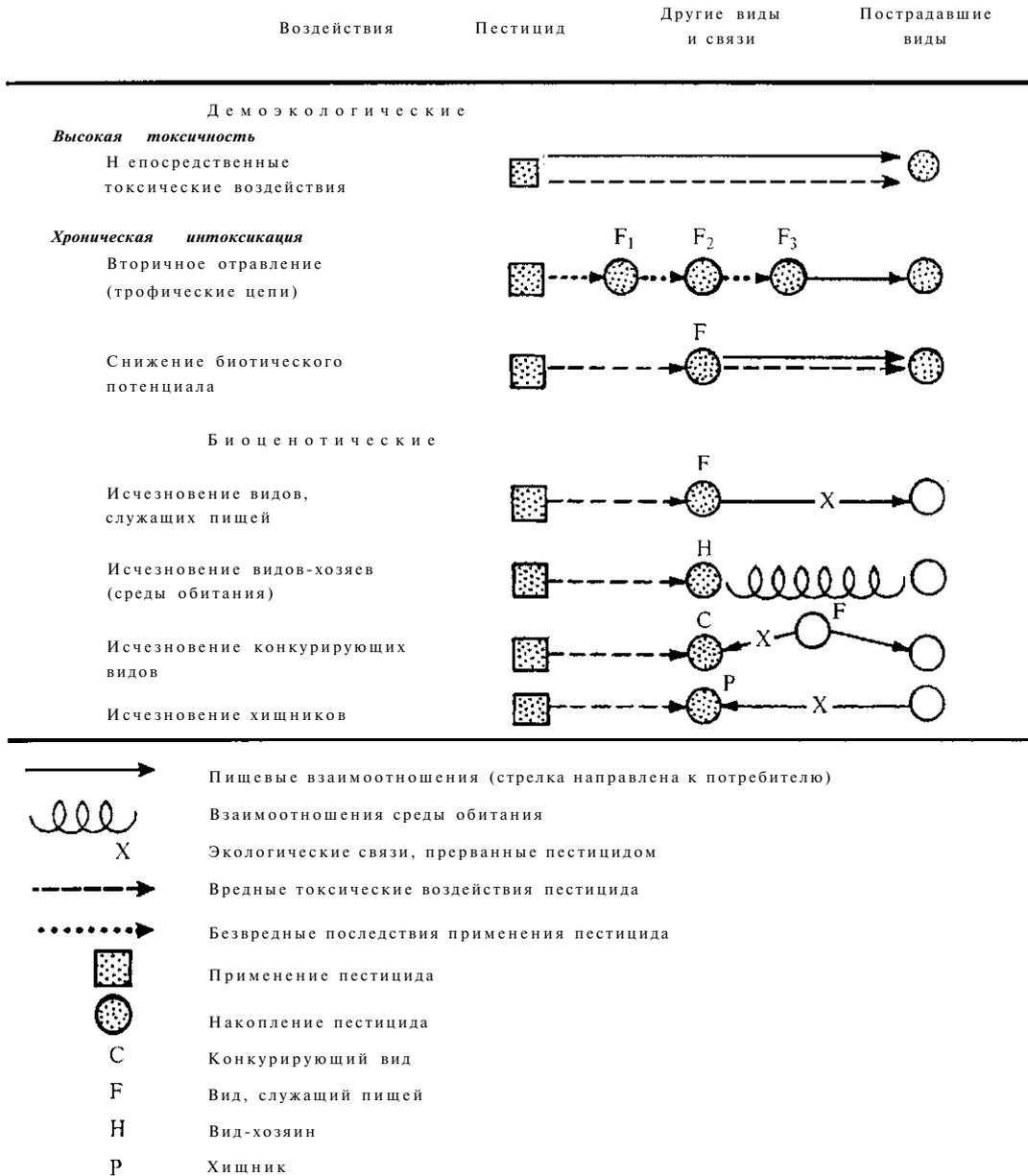


Рис. 11.10. Основные последствия экологического воздействия пестицидов (Мооге, 1967)

нарушению биологического равновесия, что может внести резкий диссонанс в биосферные процессы.

Объективная реальность требует, чтобы при решении задач химизации, требующих использования пестицидов, поддерживался точный баланс между положительными и потенциальными отрицательными эффектами. Необходимо управление тремя ключевыми связями: взаимоотношениями между пестицидами и их целевыми объектами, взаимоотношениями между пестицидами и окружающей средой в естественной или искусственной экосистеме и взаимоотношениями в цепи пестицид — пища — человек.

Пути решений здесь в первую очередь должны, по-видимому, определяться повышенными экологическими требованиями к пестицидам. По мнению видного отечественного специалиста в области химических методов защиты растений члена-корреспондента РАН Н. Н. Мельникова, новые пестициды должны соответствовать следующим требованиям:

умеренная персистентность в объектах окружающей среды в данной климатической зоне;

возможно низкая токсичность для человека, животных и других полезных организмов, в том числе гидробионтов;

относительно быстрое разложение в почве, воде, атмосфере и в организмах теплокровных животных с образованием продуктов, безопасных для человека, животных и культурных растений;

отсутствие кумуляции этих препаратов в организме человека, животных, птиц и гидробионтов;

отсутствие отдаленных отрицательных последствий для человека, животных и других живых организмов при систематическом длительном использовании препаратов;

возможность чередования препаратов из различных классов соединений во избежание привыкания к ним вредных организмов, а также накопления препаратов в объектах окружающей среды.

Химизация сельского хозяйства по своей сути — активное вмешательство человека в круговорот веществ в природе для его регулирования и стимулиро-

вания наибольшей отдачей почвы, растительного и животного мира. Связанные с химизацией преимущества, с одной стороны, и ее отрицательные последствия, с другой — это противоположности, образующие сущность единого, но противоречивого целого — процесса химизации. В принципе следует рассматривать химические средства, применяемые на биоценотической основе, как способ управления процессами саморегуляции организмов агроценоза. Оценивая с этих позиций сложившуюся практику применения ХСЗР, нельзя не обратить внимание на ее определенную «прямолинейность», вследствие чего должным образом не учитываются особенности функционирования экологических систем, где «все связано со всем». В процессе предотвращения возможных неблагоприятных последствий, вызываемых вредителями, болезнями, сорняками, целевому воздействию подлежат множество объектов элиминирования. Очевидно, что и арсенал применяемых способов защиты растений также должен быть достаточно разнообразным и максимально соответствующим (близким) природе нежелательных явлений. Речь должна идти о комплексной системе защитных мероприятий, включающей агротехнические, биологические, карантинные, механические, селекционные, семеноводческие, физиологические и химические способы, разрабатываемые на основе познания объективных закономерностей развития культурных растений, их вредителей, болезней и полезных организмов с учетом влияния окружающей среды.

Основное направление биологического способа — использование полезных насекомых и клещей (энтомофагов) в борьбе с вредными. Энтомофаги представлены в природе хищниками, ведущими активный образ жизни и питающимися многими особями одного или (чаще) нескольких видов вредителей и паразитами (или паразитоидами), живущими до достижения взрослой стадии внутри или на теле одной особи вредителя и питающимися ею. Наиболее известные и широко используемые хищники — божьи коровки, златоглазки, жужелицы, мухи-журчалки, муравьи.

Из числа паразитов для биологической защиты часто применяют перепончатокрылых насекомых (трихограммы, бракониды, ихневмониды, теленомусы, энкарзии и др.) и мух (тахины и др.). Наиболее опасны для растений иноземные карантинные вредители. В новых районах обитания они лишены своих врагов и поэтому причиняют наибольший ущерб. Самый эффективный способ борьбы с такими вредителями — интродукция с их родины энтомофагов. Завезенные хищники и паразиты либо акклиматизируются в новых условиях, либо их размножают в биолaborаториях и выпускают в природу, где они с успехом заменяют химические обработки. Большое значение имеют мероприятия по охране местных энтомофагов: создание микрорезервуаров, расселение некоторых видов (например, муравьев) по территории, посев вблизи сельскохозяйственных угодий нектароносных растений для подкормки взрослых паразитов, использование высокоселективных пестицидов в сроки, безопасные для энтомофагов, и т. д. Изучение биологических особенностей полезных организмов и разработка методов, обеспечивающих их развитие, позволяют сохранить биocenотическое равновесие и значительно сократить или даже исключить применение химических средств борьбы с вредными организмами.

Биологические средства начали использовать и для защиты растений от болезней. Так, на основе изучения гиперпаразита мучнистой росы огурца создан биопрепарат, позволяющий исключить применение в защищенном грунте химических средств для борьбы с наиболее опасной болезнью огурца. Разрабатываются приемы использования для этой цели ряда авирулентных штаммов бактерий и грибов, эффективных против различных корневых гнилей, ржавчины и мучнистой росы зерновых и других культур. Исследуется возможность использования биологических методов в борьбе с сорными растениями, например горчаком розовым, амброзией, повиликой, заразихами. Перспективно использование против сорняков специальных растительноядных насекомых (гербифагов).

Важную роль в защите растений иг-

рают способы обработки почвы, сроки и способы посева, уход за растениями, проведение своевременной уборки, соблюдение севооборота и правильное чередование культур в нем. Необходим переход от монокультуры к поликультуре: в сложных экосистемах взаимосвязи таковы, что постоянно высокая численность какого-либо одного вида (сорняка или вредителя) невозможна.

Выведение сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к наиболее опасным вредителям и болезням, соблюдение правил семеноводства, предусматривающих меры не только по сохранению первоначальных качеств сорта, но и по оздоровлению семенного материала, — весьма важные и перспективные составляющие системы защитных мероприятий. Например, многолетними опытами по ступенчатой гибридизации в бывшем СССР была выведена группа сортов хлопчатника, не поражаемых вилтом.

К настоящему времени завершены работы по выделению и идентификации гормонов, управляющих метаморфозом и размножением насекомых. В частности, расшифрована химическая структура многих гормонов и осуществлен их синтез. В практике защиты растений находят широкое применение синтетические половые феромоны (биологически активные летучие вещества, управляющие размножением и многими другими формами жизнедеятельности) для выявления очагов вредителей, установления сроков проведения мероприятий по химической защите и привлечения самцов вредных насекомых к источникам стерилизации.

Для снижения поступления пестицидов в пищевые цепи важно регулировать химический состав почвы: дефицит азота, серы или бора активизирует процессы накопления токсикантов в растениях соответственно на 27,18 и 23 %.

Кроме того, для предотвращения последствий пестицидного загрязнения следует уменьшать нормы расхода препаратов и кратность обработок, ускорять расход пестицидов, добавлять в товарные формы адсорбенты, снижающие миграцию пестицидов и степень их подвижности.

Принципиально важное значение для

принятия оптимальных решений по защите растений имеют надежные прогнозы патологического эффекта, учет экономических порогов вредоносности (плотность популяции вредного организма, вызывающая такую степень повреждения растений, при которой применение защитных мероприятий экономически оправдано) и целесообразности (плотность популяции вредного организма, вызывающая такое снижение урожая, при котором применение защитных мероприятий рентабельно). Очевидно, что требуются обоснования для определения порога экологической целесообразности применения химических средств защиты растений.

К настоящему времени в Германии, Франции и США накоплено немало примеров достаточно успешного выращивания сельскохозяйственных культур без применения ХСЗР, полученных фермерами. В России также есть хозяйства, в которых без пестицидов получают хорошие урожаи (Краснодарский край, Омская область, Чувашская Республика). В ряде хозяйств Краснодарского края выращивают рис по не предусматривающей применения пестицидов технологии, разработанной профессорами Кубанского ГАУ Е. Б. Величко и В. П. Амелиным. Здесь же разработана аналогичная безгербицидная технология возделывания кукурузы. В некоторых районах Новосибирской области небезуспешно внедряется практика изменения структуры посевов с учетом прогнозируемой численности вредителей и т. д.

Комплексный подход к защите сельскохозяйственных растений от вредителей, болезней, сорных растений послужил основой для создания интегрированной системы защиты растений, или интегрированной борьбы с вредными видами. По определению М. С. Соколова и др. (1994), это особый подход к совместному использованию всех доступных форм подавления вредного организма, включая механические, физические, биологические, биоценотические, агротехнические, химические способы борьбы и регулирования численности, систематические применяемые для достижения основной цели — безопасно, эффективно и с минимальными затратами средств уменьшить популяцию вредного

вида. Этими же авторами предложена оригинальная системообразующая схема защиты растений и урожая (рис. 11.11).

Известен зарубежный аналог интегрированной системы защиты растений — интегрированная система регулирования численности вредителей. Как отмечает Сандра Поустел (Sandra Postel, 1988), называя эту систему комплексной борьбой с вредителями (КБВ), она рассматривает сельскохозяйственные угодья как экосистему, в которой взаимодействует множество природных факторов, влияющих на вредных насекомых и сорняки. Эта система включает механизмы биологического контроля (естественные враги вредителей), культуру сельскохозяйственного производства, генетические преобразования (создание устойчивых к вредителям сельскохозяйственных культур) и разумное использование химикатов, способствующих стабилизации урожаев при минимизации угрозы здоровью населения и окружающей среде. При этом преследуется цель не полного уничтожения вредителей и сорняков, а поддержание их численности, на том уровне, который не приводит к ощутимым экономическим потерям. Химикаты в КБВ не первоочередное и основное средство борьбы, а избирательное и используемое только в случае острой необходимости. Рассматриваемая система борьбы требует знаний о жизненных циклах вредителей, их поведении и естественных врагах, о влиянии способов посева и внесения ядохимикатов на численность вредителей и их врагов, а также о ряде других параметров сельскохозяйственных экосистем. Определенное мнение о рассмотренной системе защиты растений позволяют составить данные, приведенные в таблице 11.9.

11.9. Некоторые примеры положительных результатов применения комплексной борьбы с вредителями (КБВ) (Postel, 1988)

Страна (регион)	Сельскохозяйственная культура	Результат
Бразилия	Соевые бобы	Использование пестицидов снизилось за 7 лет на 80...90%
Китай (провинция Янцзы)	Хлопчатник	Использование пестицидов снизилось на 90 %, затраты на борьбу с вредителями — на 84 %, урожайность возросла

ИНТЕГРИРОВАННАЯ						
ЭКОЛОГИЗИРОВАННАЯ						
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ				ХИМИЧЕСКАЯ		
БИОЛОГИЧЕСКАЯ						
Агротехнический						
Биоцено-тический	Аллелопаты			Антидоты Протектанты Синергисты		
Механический	Антагонисты Паразитоиды Паразиты			БАВ и их аналоги Микробные метаболиты Суперселективные пестициды	Арборициды Гербициды Десфолианты	
Организационно-хозяйственный	Гербифаги Фитофаги	Гербипатогены Микогербициды	Генетически устойчивые породы, виды, разновидности Трансгенные растения	Индукторы иммунитета PPP Фитоалексины	Бактерициды Вирусоциды Фунгициды	
Физический	Хищники	Микробио-агенты	Устойчивые гибриды, клоны, сорта Поливиды, полисорты	Колины Фитонциды Фитотоксинны	Аттракциды Зооциды Инсекто-акарициды	
Беспестицидные методы	Средства классического биометода	«Экстенсивные биосредства»	Продукты генетико-селекционных и биотехнологического методов	Биорациональные химические средства	Пестициды широкого спектра действия	

Рис. 11.11. Схема защиты растений и урожая (методы и средства сдерживания, регуляции и самозащиты от вредных организмов) (Соколов и др., 1994):

БАВ — биологически активные вещества; PPP — регуляторы роста растений

Продолжение

Страна (регион)	Сельскохозяйственная культура	Результат
Индия (штат Ориса)	Рис	Использование инсектицидов снизилось в пределах 1/3...1/2
США (Южный Техас)	Хлопчатник	Использование инсектицидов снизилось на 88 %, средний доход фермеров увеличился до 77 долл/га
Никарагуа	Хлопчатник	За первую половину 70-х годов использование инсектицидов снизилось на 1/3 при росте урожайности
США (Арканзас)	Рис, соевые бобы	Борьба с вредными сорными растениями с помощью биогербицида на основе грибов
Китай (провинция Гирин)	Кукуруза	Грибные биогербициды и паразитирующие осы составляют 80—90 % средств борьбы с основными вредителями

11.3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВ

По данным Минсельхозпрода, на начало 1995 г. в Российской Федерации 20 млн 360 тыс. га сельскохозяйственных угодий занимали земли, характеризующиеся повышенной кислотностью:

Экономический район	Площади с повышенной кислотностью почвы (pH < 5,0)	
	тыс. га	%
Северный	602,5	33,2
Северо-Западный	558,9	47,1
Центральный	4276,9	46,6
Волго-Вятский	3118,8	33,6
Центрально-Черноземный	1864,5	15,9
Поволжский	2264,8	8,5
Северо-Кавказский	278,0	1,6
Уральский	2781,2	11,2
Западно-Сибирский	2223,2	8,9
Восточно-Сибирский	661,9	5,4
Дальневосточный	1729,8	49,6

Активизация кислотных процессов в атмосфере, гидросфере и на суше обусловлена в первую очередь антропогенными факторами — техногенными выбросами сернистых и азотных соединений (рис. 11.12). По расчетам Ю. А. Израэля (Израэль, 1984), только в результате влияния кислотных осадков, переносимых через западную границу бывшего СССР, сельскому хозяйству в северо-западной части страны ежегодно причинялся ущерб в размере до 100 млн руб. (Для раскисления почв здесь необходимо вносить до 3,5 млн т извести ежегодно. Условно говоря, 35 кг на каждую единицу ущерба.)

На кислых почвах, как известно, на 30...40 % уменьшается эффективность минеральных удобрений, увеличиваются непроизводительные потери азота, нарушается поступление элементов питания в культурные растения, в продукции интенсивно накапливаются тяжелые металлы и радионуклиды, ухудшается ее качество, снижается устойчивость агроценозов к неблагоприятным погодным условиям. Ежегодные потери урожая, обусловленные влиянием неблагоприятной кислотности почв, оцениваются в пересчете на зерно в 10—12 млн т.

Известкование, основанное на заме-

не в ППК ионов водорода и алюминия ионами Са и Mg, является основным способом коренного улучшения кислых почв, которые по степени кислотности и потребности в мелиоранте распределяются следующим образом.

рН в КС1-вытяжке	Степень кислотности почвы	Потребность в известковании
< 4,5	Очень сильнокислая и сильнокислая	Очень высокая и высокая
4,6...5,0	Среднекислая	Средняя
5,1...5,5	Слабокислая	Низкая
5,6...6,0	Близкая к нейтральной	Очень низкая
> 6,0	Нейтральная	Отсутствует

Большинство сельскохозяйственных культур лучше развивается при рН почвы порядка 6,0...6,5. По отношению к кислотности почв и отзывчивости на известкование их можно разделить на пять групп.

I группа — наиболее чувствительные к кислотности: хлопчатник, люцерна, эспарцет, сахарная, столовая и кормовая свекла, конопля, капуста.

Они хорошо растут только при нейтральной или слабощелочной реакции почвы (рН 7...8) и очень сильно отзываются на внесение извести даже на слабокислых почвах.

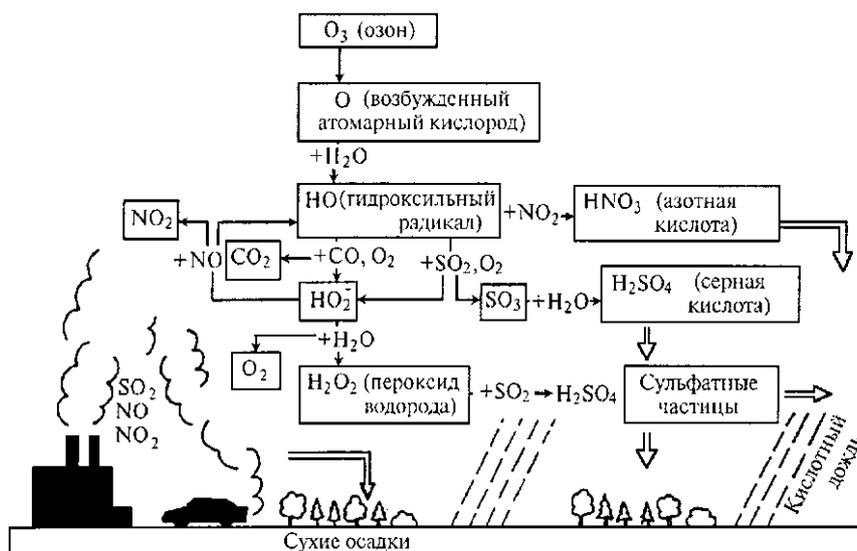


Рис. 11.12. Схема формирования кислотных дождей (Суравегина, Мамедов, 1996)

II группа — чувствительные к повышенной кислотности: ячмень, яровая и озимая пшеница, кукуруза, соя, фасоль, горох, кормовые бобы, клевер, подсолнечник, огурец, лук, салат.

Эти растения лучше растут при слабокислой или нейтральной реакции почвы (рН 6...7) и хорошо отзываются на известкование не только сильнокислых, но и среднекислых почв. На известкованных почвах урожайность этих культур значительно повышается, резко уменьшается выпадение озимой пшеницы и клевера при перезимовке.

III группа — слабочувствительные к повышенной кислотности: рожь, овес, просо, гречиха, тимофеевка, томат, редис, морковь.

Эти культуры могут удовлетворительно расти в широком интервале рН (рН 4,5...7,5), но наиболее благоприятны для их возделывания слабокислые почвы (рН 5,5...6,0). На сильно- и среднекислых почвах они положительно реагируют на известкование полными нормами, что объясняется не только снижением кислотности, но и усилением мобилизации питательных веществ и улучшением питания растений азотом и зольными элементами.

IV группа — лен и картофель.

Эти культуры нуждаются в известковании только на сильнокислых почвах. Картофель малочувствителен к высокой кислотности и хорошо растет на кислых почвах. Для льна характерен узкий интервал оптимальной реакции. Он чувствителен и к повышенной кислотности почвы, и к щелочной реакции. Наиболее благоприятны для его роста слабокислые почвы (рН 5,5...6,0).

При внесении высоких доз извести и доведении реакции среды до нейтральной урожай картофеля и льна и особенно его качество могут снижаться, картофель сильно поражается паршой, а лен — бактериозом. Отрицательное влияние повышенных доз извести на эти культуры объясняется не столько нейтрализацией кислотности, сколько уменьшением количества усвояемых соединений бора в почве, а также избыточной концентрацией ионов кальция в почвенном растворе, затрудняющей поступление в растения других катионов, в частности магния и калия.

V группа — люпин синий и желтый, сераделла, чайный куст.

Эти культуры хорошо растут на кислых почвах (рН 4,5...5,0) и плохо — на щелочных и даже нейтральных. Они чувствительны к избытку водорастворимого кальция в почве, особенно в начале вегетации, поэтому отрицательно реагируют на повышенные дозы извести. Однако при внесении пониженных доз известковых удобрений, содержащих магний, снижения урожайности этих культур не наблюдается.

При известковании активизируется жизнедеятельность полезной микрофлоры и улучшается минеральное питание растений в результате более активной трансформации органических соединений, меняются к лучшему физические свойства почвы, возрастает эффективность использования минеральных и органических удобрений. Все это, разумеется, способствует снижению вероятности возможных негативных воздействий на окружающую природную среду. К положительным последствиям известкования относят также снижение подвижности ионов токсичных тяжелых металлов.

Каждая тонна извести за 5 лет действия дает прибавку сельскохозяйственной продукции примерно в 0,5...0,6 т/га (в пересчете на зерно). Продолжительность последствия известкования зависит от дозы мелиоранта. При внесении, например, 3...4 т извести на 1 га действие ее может продолжаться 5...7 лет, а при внесении 6...8 т — 10...15 лет и более.

К сожалению, приходится констатировать, что в последние годы наблюдается устойчивая тенденция к снижению масштабов известкования кислых почв:

Годы	1986-1990 (среднее за год)	1991	1992	1993	1994	1994 в % к 1991
Произвесткованные площади, тыс. га	5209	4431	3779	2813	1524	34

Для снижения кислотности почв до сих пор преимущественно применяют известкование верхнего слоя. Между тем в опытах на экспериментальной сельскохозяйственной станции в штате Алабама (США), в которых известь на

кислых почвах вносили на разную глубину: поверхностно, на глубину 15, 30 и 45 см, было показано, что урожай хлопчатника при внесении извести на максимальную глубину (45 см) примерно в 3 раза выше, чем в контрольном варианте (известкование не проводилось). Высота растений достигала соответственно 125,0 и 47,5 см.

В качестве мелиоративных материалов в настоящее время наряду с известью широко используют отходы промышленности: металлургические шлаки, угольную золу, отходный (химический) мел, фосфат-шлаки, феррохромовые шлаки, сланцевую золу, дефекат (отход сахарного производства).

Ввиду опасности загрязнения окружающей природной среды различными токсикантами, содержащимися в используемых материалах, необходимо учитывать экологические ограничения, установленные государственными стандартами, санитарными нормами и правилами, иными регламентирующими документами (табл. 11.10)

НЛО. Экологические ограничения при известковании кислых почв

Экологические ограничения	Способ контроля; источник информации
Не допускается внесение известковых материалов в почву непосредственно после обработки хлорорганическими пестицидами; интервал должен составлять не менее 72 ч	Журнал агрохимических работ; Журнал учета работ по защите растений
Запрещены все способы внесения известковых материалов в почву на территории первого пояса зоны санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения	Картографические материалы; проектно-сметная документация
Не допускается внесение известковых материалов во втором поясе зоны санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения в период непосредственной угрозы паводка	Информация гидрометеослужбы; картографические материалы
При использовании для известкования дефеката количество жизнеспособных семян сорных растений не должно превышать установленного предельного уровня	Анализ в ПИЦАС по методике НТД — на дефекат

Продолжение

Экологические ограничения	Способ контроля; источник информации
Не допускается внесение в почву известковых материалов — отходов промышленности, в которых содержание тяжелых металлов, радионуклидов и других токсичных элементов (соединений) превышает допустимый уровень (Перечень и классификация химических веществ антропогенного происхождения по степени опасности для контроля загрязнения и прогноза состояния почв установлены государственными стандартами)	Санитарные нормы по СПиН; НТД на известковые материалы; паспорт поля
Соблюдение предельно допустимых концентраций химических веществ в почве	Отбор проб почвы по ГОСТу; определение элементов по СПиН

По содержанию тяжелых металлов и других токсикантов используемые в качестве мелиорантов материалы подразделяют на 4 группы, отличающиеся по дозам, срокам и кратности использования:

Группа материалов	Экологические ограничения на использование известковых материалов
I	Известковые материалы, применение которых разрешено без ограничений (известковая мука, мел, дефекат)
II	Известковые материалы, применение которых разрешено в дозах не более 7 т/га раз в 5 лет (феррохромовые шлаки, отходный мел, угольная зола)
III	Известковые материалы, применение которых разрешено раз в 10 лет в дозах не более 7 т/га с обязательным контролем изменения фонового содержания потенциально опасных элементов в почве
IV	Запрещено применение при известковании кормовых угодий

При известковании почв обязательному учету подлежит ПДК тяжелых металлов и других токсичных элементов (соединений) в почве, фоновое содержание этих элементов, класс их опасности согласно ГОСТу, ориентировочное содержание нежелательных примесей в известковых материалах.

Данные, характеризующие содержание тяжелых металлов в почве и известковых материалах, приведены в таблице 11.11.

11.11. Содержание тяжелых металлов в почве и известковых материалах

Элемент	Класс опасности	ПДК в почве, мг/кг	Фоновое содержание в почве, мг/кг (валовые формы)	Ориентировочное содержание в материале, мг/кг
Кадмий	1	3,0	0,05...0,24	1...5
Мышьяк	1	2,0		
Ртуть	1	2,1	0,0...1,0	
Свинец	1	30,0	10...16	3...150
Фтор	1	2,8 п. ф.	20...300	
Цинк	1	100,0	40...80	30...300
Кобальт	2	5,0 п. ф.		
Медь	2	3,0 п. ф.	15...25	5...100
		55,0 вал. ф.		
Никель	2	4,0 п. ф.	20...60	3...300
		85,0 вал. ф.		
Хром	2	2,0 п. ф.	80...140	100...10000
Ванадий	3	150,0	60...100	1...1000
Марганец	3	1500,0		200...10000
Марганец + ванадий	3	1000,0+ 100,0		
Стронций	3	—	120...170	100...1000

Примечание, п. ф. — подвижные формы; вал. ф. — валовые формы.

Глава 12

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРОШЕНИЯ И ОСУШЕНИЯ ПОЧВ

Естественные свойства почв различных районов нередко малоблагоприятны для эффективного сельскохозяйственного использования. Многолетняя мерзлота почв северных районов, переувлажненность почв лесной зоны, кислотность подзолистых почв, засоленность почв аридных областей, а также мезо- и микро рельеф отдельных земельных участков (крутые склоны, овраги, наличие валунов, кочек, камней и т. д.) требуют приложения определенных усилий человека по преобразованию естественных свойств не только почвы, но и рельефа, климата, растительности.

Направленное улучшение неблагоприятных свойств природной среды с целью максимально полного использования природно-ресурсного потенциала называют мелиорацией.

Мелиорация — система научно обоснованных организационно-хозяйственных, технических, биологических и других мероприятий, направленных на улучшение природных условий используемых территорий. Сельскохозяйственная мелиорация преимущественно ориентирована на улучшение почвен-

ных, гидрологических и климатических условий сельскохозяйственных угодий и включает орошение, обводнение, осушение земель, противозерозионные мероприятия, рассоление почв и т. д. Объектами мелиорации могут быть также леса, ландшафты, климат, водные объекты, нарушенные земли и др. В связи с этим выделяют различные виды и способы мелиорации (табл. 12.1). Экологически обоснованные мелиоративные работы позволяют одновременно решать существенные вопросы охраны природы и улучшения качества среды.

12.1. Сводная таблица некоторых основных видов и способов мелиорации

Виды мелиорации	Подвиды	Способы
Климатические	Микроклиматические	Обогрев плантаций дымлением; укрытие; полив
	Мезо- и макроклиматические	Вызывание осадков из облаков; рассеивание облаков; уничтожение града; вызывание таяния ледников; изменение течений рек; создание гидротехнических сооружений и искусственных водоемов

Продолжение

Виды мелиорации	Подвиды	Способы
Водные	Оросительные	Поверхностное, подпочвенное, лиманное орошение, дождевание
	Осушительные	Открытый способ; закрытый дренаж; обвалование
Снежные		Снегозадержание, снегонакопление, уплотнение снега, задержание талых вод
Фитомелиорации	Лесомелиорации	Лесонасаждение на полях, горных склонах, орошаемых землях и песках
	Кустарниковые и травянистые	Использование псаммофитов и кустарников для закрепления песков
Земельные	Борьба с эрозией	Регулирование поверхностного стока, выпаса скота; закрепление оврагов; почвозащитные меры
	Культурно-технические	Уничтожение механических препятствий при обработке почвы; уничтожение дикой растительности, химическая мелиорация неудобных и малопродуктивных земель; террасирование склонов
	Повышение плодородия обрабатываемых земель	Известкование кислых и гипсование засоленных почв; внесение удобрений; борьба с сорной растительностью; создание мощного растительного покрова

При комплексном ведении мелиоративных работ меняются соотношения всех средообразующих компонентов. Примером может служить мелиорация Колхидской низменности, расположенной в нижнем течении р. Риони (Черноморское побережье Грузии). Здесь проведен и постоянно поддерживается большой комплекс мелиоративных мероприятий, в том числе и осушение болот, что позволяет получать устойчивые и высокие урожаи субтропических культур.

Чаще мелиорации направлены на изменение какого-либо одного компонента экосистемы. Например, мероприятия по созданию новых и улучшению существующих источников получения воды или, наоборот, устранение избыточной увлажненности, регенерации нарушенных процессов самовосстановления природного качества поверхностных и подземных вод. (Такого рода работы

объединяются под общим названием — гидромелиорация.)

В целом же, по мнению специалистов, в процессе хозяйственной деятельности необходимо проводить более 35 видов мелиорации. Одна из основных среди них — мелиорация почв, осуществляемая путем искусственного регулирования их водного, воздушного, солевого, теплового, биохимического и физико-химического режимов. Как свидетельствует многолетняя практика, для регулирования и изменения перечисленных свойств почвы применяется порядка 30 видов мелиорации почв (орошение и осушение, агролесомелиорация и фитомелиорация, пескование глинистых почв и глинование легких и торфяных, гипсование и известкование, внесение поверхностно-активных соединений и т. д.).

Каждый вид мелиорации, действуя на основной «мелиорируемый» компонент, оказывает непосредственное или косвенное воздействие на сопредельные территории и компоненты, что с экологической точки зрения не всегда желательно, а порой и крайне опасно. Такие нежелательные процессы чаще всего сопутствуют гидромелиорации, являясь преимущественно ее следствием. Это характерно как для осушения, так и для орошения. Данные виды мелиорации обычно кардинально изменяют естественные гидрологические процессы. Масштабность их использования на планете обусловлена тем, что аридные (засушливые) и семиаридные (полузасушливые) земли занимают свыше 50 % поверхности суши. Обладая плодородными свойствами, они испытывают недостаток влаги. В нашей стране около 75 % пахотных земель расположено в зонах неустойчивого или недостаточного увлажнения.

Мелиорация земель призвана способствовать получению высоких и устойчивых урожаев, повышению плодородия почвы и рациональному использованию земельных ресурсов.

К ней относятся: орошение и осушение земель; обводнение пастбищ; регулирование течения рек и поверхностного стока вод; промывка водой засоленной почвы; вентиляция почв, плохо проводящих воздух, посредством под-

земных дрен; устройство гидротехнических сооружений и валов для предотвращения эрозии почв; удаление промоин и закрепление оврагов; укрепление сыпучих песков облесением, сидерацией и внесением органических удобрений; почво- и полезашитное лесонасаждение; коренное улучшение химико-физических свойств почвы путем известкования, гипсования и внесения органических и минеральных удобрений; устранение солонцовых пятен на полях, пастбищах и сенокосах; корчевание пней, сведение кустарника, уборка валунов и камней с полей, лугов и пастбищ, уничтожение кочек, выравнивание микрорельефа. Каждый вид этих работ выполняют в зависимости от хозяйственной необходимости и целесообразности с учетом природных условий данной местности. При этом наиболее полный хозяйственный и экономический эффект мелиорация дает при комплексном осуществлении системы мелиоративных мероприятий. Например, использование минеральных удобрений на полях с повышенной кислотностью почв обязательно должно сопровождаться известкованием; орошение полей дает должный эффект в сочетании с внесением минеральных и органических удобрений, возделыванием на полях специально выведенных сортов растений, устройством дренажной сети при строгом соблюдении норм полива.

Изменения водного баланса различных территорий и речного стока под влиянием хозяйственной деятельности, вероятность отрицательных последствий в результате целенаправленных и непреднамеренных отклонений антропогенных процессов от их сложившейся природной динамики уже давно интересовали исследователей. Основы комплексных воднобалансовых исследований, результаты которых позволяют выявить роль почвенного и растительного покрова речных водосборов в изменении водоносности рек и процессов, определяющих влагообмен в почвах, были заложены В. В. Докучаевым, А. И. Войковым, А. А. Измаильским, П. А. Костычевым еще в конце прошлого века.

Последующие работы по изучению проблем орошения (А. М. Алпатьев,

А. Н. Костяков, Н. А. Мосиенко, С. И. Харченко, В. В. Шабанов, И. А. Шикломанов, Б. Г. Штепа и др.) позволили создать довольно реальную картину возможных экологических изменений природных комплексов под воздействием орошения.

Исследования в области влияния осушительных мелиорации на окружающую среду, проведенные А. Г. Булачко, К. Е. Ивановым, С. Н. Новиковым, В. В. Романовым, С. Г. Скоропановым, В. Ф. Шебеко и др., позволили установить возможность возникновения отрицательных проявлений и последствий.

12.1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОРОШЕНИЯ

Орошение — один из древнейших способов повышения продуктивности почв, а в настоящее время — одно из важнейших направлений интенсификации сельскохозяйственного производства в регионах с недостаточным и неустойчивым естественным увлажнением.

Орошаемое земледелие опирается на определенные природные закономерности, которые должны лежать в основе любого комплекса природопреобразующих мероприятий: закон минимума; закон равнозначности и незаменимости факторов роста; закон оптимума; закон взаимодействия (совокупного действия) факторов. Проявления этих законов при проведении мероприятий, направленных на повышение плодородия почвы и продуктивности выращиваемых культур, изучены и представлены В. Р. Вильямсом как основы научного почвоведения.

Применение современных методов исследований на орошаемых массивах, проведение многофакторных стационарных полевых опытов, обеспечивающих комплексный подход к изучению изменений, сопутствующих процессу орошения, а также являющихся его следствием, позволяют установить закономерности, характерные для различных условий аридности. Полученные к настоящему времени результаты свидетельствуют, что в орошаемом земледелии в связи с интенсивным применением поливов, удобрений и средств защи-

ты растений проявляются новые закономерности во взаимодействии экологических факторов (Лысогоров, 1971, 1981, 1991). Возникает необходимость разработки специальных мероприятий по охране окружающей природной среды.

Одно из наиболее опасных последствий орошения — засоление земель (табл. 12.2). Ежегодно из-за засоления на планете выпадает из оборота более 300 тыс. га орошаемых земель, а общая площадь засоленных и ставших бесплодными земель достигает 25 млн га.

Засоление широко распространено в районах, где издавна использовали орошение (Египет, Ирак, Индия, Пакистан и др.). Так, в долине р. Нил засолению подвержено 1,2 из 1,7 млн га (более 70 %); в Ираке около 50 % орошаемых площадей; в долине р. Инд 10 из 15 млн га (67 %). В США засоленные массивы занимают более 27 %. В бывшем СССР с 1960 по 1980 г. в среднем из каждой тысячи орошаемых гектаров засолялось 184 га (в том числе 141 га пашни). Общая же площадь засоленных земель достигала 3,5 млн га (в том числе

более 2,5 млн га пашни), что составляло около 20 % суммарной площади орошаемых земель.

К настоящему времени в России в неудовлетворительном состоянии находится 771 тыс. га орошаемых земель, в том числе из-за недопустимой глубины залегания уровня грунтовых вод 325 тыс. га, из-за засоления — 292, из-за одновременного действия обоих предыдущих факторов — 154 тыс. га. Общая площадь учтенных засоленных земель в России составляет 38,4 млн га (19,9 % всех сельхозугодий), из которых 34 % — пашня и 66 % — солонцы.

Засоление почв, как известно, представляет собой повышение содержания в них легкорастворимых солей (карбоната натрия, хлоридов, сульфатов). Если процесс засоления обусловлен засоленностью почвообразующих пород, привнесением солей грунтовыми и поверхностными водами, то засоление называют первичным или остаточным.

В естественных условиях засоление происходит за счет выпадения солей из засоленных грунтовых вод, а также в результате эолового привноса извне (моря и

12.2. Классификация почв по степени и качеству засоления

Состояние сельскохозяйственных растений, характеризующихся средней солеустойчивостью	Почвы	Тип засоления						
		содовый	хлоридно-содовый и содово-хлоридный	сульфатно-содовый и содово-сульфатный	хлоридный	сульфатно-хлоридный	хлоридно-сульфатный	сульфатный
		содержание водорастворимых солей (плотный остаток) в горизонте максимального скопления (слой 0...60 см), %			содержание водорастворимых солей (плотный остаток) в слое (0...100 см), %			
Хорошие рост и развитие; выпадов нет; урожай нормальный	Незасоленные или слабозасоленные	< 0,10	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,20	< 0,25	< 0,30
Слабое угнетение; выпады растений; снижение урожая на 10...12%	Слабозасоленные	0,10...0,20	0,15...0,25	0,15...0,30	0,15...0,30	0,20...0,30	0,25...0,40	0,30...0,60
Среднее угнетение; снижение урожая на 20...25 %	Среднезасоленные	0,20...0,30	0,25...0,40	0,30...0,50	0,30...0,50	0,30...0,60	0,40...0,70	0,60...1,00
Сильное угнетение; снижение урожая на 50...80%	Сильнозасоленные	0,30...0,50	0,40...0,60	0,50...0,70	0,50...0,80	0,60...1,00	0,70...1,20	1,00...2,00
Выживают единичные растения; урожая практически нет	Солончак	> 0,50	> 0,60	> 0,70	> 0,80	> 1,00	> 1,20	> 2,00

океаны, соленые озера). Важным источником солей в ландшафте, в том числе в грунтовых водах и почвах, являются засоленные материнские породы (особенно соляные купола). Некоторое количество солей может поступать в верхние горизонты почвы с опадом растений-галофитов (солянок). На орошаемых массивах существенным источником солей в почвах могут быть оросительные воды.

Один из основных методов оценки процесса засоления — составление солевого баланса для данной почвы или земельного массива. Баланс представляет собой суммарный запас легкорастворимых солей в почве, равный разности между приходными статьями баланса (поступление солей из грунтовых вод, эоловый привнос солей, поступление солей из оросительных вод и минерализующихся растительных остатков, из удобрений) и его расходными статьями (отток солей из почвы в грунтовые воды с просачивающимися атмосферными осадками, вынос с оросительными водами, выдувание солей ветром с поверхности почвы, вынос солей с урожаем сельскохозяйственных культур).

Принято выделять три типа солевого баланса почв: стабильный (запас солей в почвенной толще не изменяется); баланс засоления (запас солей в почве возрастает); баланс рассоления (запас солей в почвенной толще уменьшается).

Неблагоприятное влияние засоления почвы на развитие сельскохозяйственных культур связано не только с повышенным осмотическим давлением почвенного раствора, ухудшением водно-физических свойств почв, особенно в провинциях содового засоления, и неблагоприятным солевым составом, но и с повышенной концентрацией соединений бора, которая может достигать токсичного для растений уровня — 0,3...1,0 мг/л. Наиболее чувствительны к бору почти все плодовые культуры.

В солончаках соледержащие минералы и легкорастворимые соли накапливаются на поверхности почвы, а в автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных солонцах — соответственно в нижней, верхней и средней частях почвенного профиля.

Присутствие в почвах легкорастворимых солей неблагоприятно влияет на

рост и развитие растений. Большая часть зерновых культур снижает урожайность при электропроводности, составляющей 4...6 мСм/см. Для овощных и плодовых культур эти величины гораздо ниже (1...2 мСм/см).

Отрицательное влияние легкорастворимых солей на растения связано с совокупным действием трех различных факторов. Преобладающую роль обычно играет высокое осмотическое давление почвенного раствора, обусловленное возросшим содержанием растворенных солей и приводящее к ухудшению поглощения влаги растениями. Поэтому на засоленных почвах растения часто страдают от засухи даже при высокой влажности почвы.

Еще один фактор, препятствующий нормальному росту растений, — специфическое воздействие ионов Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , иногда NO_3^- и K^+ . Когда в листьях накапливается более 0,5 % Cl или более 0,2 % Na (в расчете на сухую массу), происходит обгорание листьев, они приобретают бронзовую окраску, возникают некрозы. Предполагается, что при высокой концентрации в растворе ионов Na^+ и Cl^- в растениях нарушается процесс транспирации. Наиболее чувствительные к хлору растения проявляют признаки угнетения при концентрации Cl^- в вытяжке из насыщенной почвы, составляющей 5...10 мг · экв/л. Высокая концентрация в почвенном растворе ионов Ca^{2+} приводит к нарушению питания растений катионами Mg^{2+} и K^+ , а высокое содержание Na^+ — катионами Ca^{2+} и Mg^{2+} . Присутствие соды обуславливает щелочную реакцию среды, что препятствует нормальному развитию большинства сельскохозяйственных культур.

И наконец, третий фактор, обуславливающий неблагоприятное воздействие легкорастворимых солей на растения, — резкое ухудшение физических свойств почв в присутствии катионов натрия. При этом происходит обесструктурирование почвы, ухудшаются ее водный и воздушный режимы.

Основной мелиоративный прием, направленный на повышение продуктивности засоленных почв, — промывка водой, благодаря которой при нали-

чии дренажа из почвенного профиля удаляются легкорастворимые соли, т. е. соли, растворимость которых более 2 г/л. Из-за низкой водопроницаемости особенно плохо поддаются мелиорации почвы содового засоления, не содержащие гипса. В таких случаях для повышения урожайности сельскохозяйственных культур целесообразен подбор солеустойчивых видов растений.

Зачастую засоление происходит при нерациональном орошении. Этот процесс называют вторичным засолением. Почвы считают засоленными, если они содержат более 0,10% по массе токсичных для растений солей или более 0,25 % солей в плотном остатке (для безгипсовых почв). Различают много форм засоления и разновидностей засоленных почв.

Процессу вторичного засоления могут подвергаться естественно засоляющиеся, остаточо-засоленные, исходно незаселенные или глубокорассоленные почвы. Основным механизмом этого процесса — привнос солей с оросительными водами в растворимом или взвешенном состоянии и выпадение солей в почвенной толще из минерализованных грунтовых вод, уровень которых при орошении часто поднимается. Последнее явление особенно распространено на равнинных, плохо дренированных территориях. При недостаточном дренаже вторичное засоление может привести к катастрофическим последствиям. Из-за большого накопления солей в почвах обширные массивы орошаемых земель становятся непригодными для земледелия и их приходится выводить из сельскохозяйственного использования.

В. А. Ковда выделяет следующие стадии процесса вторичного засоления почв, которые генетически связаны между собой и закономерно сочетаются в пространстве:

- 1) засоление почв вдоль новых каналов;
- 2) общее засоление орошаемой территории;
- 3) рассоление староорошаемых территорий при одновременном засолении некоторых внутриоазисных пространств и периферии оазисов.

Вторичное засоление почв на орошаемых участках часто сопровождается

загрязнением почв тяжелыми металлами, пестицидами, гербицидами, нитратами, соединениями бора. Все эти вещества в районах интенсивного сельскохозяйственного использования попадают в почву как из оросительных, так и из грунтовых вод. При вторичном засолении происходят существенные изменения многих химических свойств почв: одновременно с накоплением легкорастворимых солей аккумулируются гипс и карбонаты, оказывающие благоприятное воздействие на физические свойства почв; в неблагоприятную сторону изменяется состав почвенного поглощающего комплекса, в котором Ca^{2+} ионы Ca^{2+} замещаются ионами Mg^{2+} и Na^{+} , возрастает подвижность соединений калия, кремния, железа.

Наиболее эффективным способом использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве остается орошаемое земледелие. Орошаемые земли составляют всего 14,3 % общей площади пашни планеты, но на них получают более 40 % всей сельскохозяйственной продукции. В южных районах умеренного пояса и в субтропиках при орошении урожай плодово-ягодных культур в 2...3раза, а винограда, овоще-бахчевых и зерновых культур — в 3...4 раза выше, чем без орошения.

Высокая продуктивность орошаемых земель обеспечивается интенсивной природообразующей деятельностью человека, которая выражается в наиболее полном использовании термических ресурсов, а также геохимического потенциала почв и вод. Если первое не приводит к явным экологическим сдвигам, то изменение естественного геохимического потенциала основных природных ресурсов любого региона закладывает тенденции нарушения эволюционно сложившегося равновесия и обуславливает возникновение экологических проблем орошаемого земледелия.

Прежде всего следует учитывать, что даже при достаточном научном обосновании приемов ведения орошаемого земледелия и соблюдении всех рекомендаций и требований ирригационной и экологической науки и практики расширение орошаемых площадей ведет к

заметному росту расхода воды на испарение со всеми вытекающими отсюда последствиями. Необходимо отчетливо представлять, насколько мощным «расточителем» водных богатств является орошаемое земледелие. Большая часть вод, направляемых на орошение, безвозвратно теряется для дальнейшего использования: они испаряются либо почвой, либо растениями. Результаты исследований, проводившихся в США, свидетельствуют, что 83 % невосполнимых потерь, возникающих при использовании водных ресурсов, приходится на орошаемое земледелие.

Суммарный водозабор на орошение по всем регионам планеты составляет примерно 1900 км^3 воды в год. Из этого объема 1500 км^3 теряются безвозвратно. (Однако следует отметить, что понятие «безвозвратно» все же относительно, поскольку испарившаяся влага вовлекается в круговорот воды.)

Среди применяемых в настоящее время приемов интенсификации орошения — один из наиболее действенных способов создания управляемых аграрно-ирригационных ландшафтов. При этом особого внимания требуют вопросы воздействия орошения на почвенное плодородие.

Рассматривая возможные негативные последствия, возникающие при орошении, нельзя упускать из виду и такой фактор, как качество поливной воды. К настоящему времени разработана, например, система параметров допустимости к использованию воды для орошения, которые учитывают степень опасности вод различного состава (рис. 12.1).

Немаловажной причиной засоления почв является поднятие минерализованных грунтовых вод выше определенного критического уровня. Грунтовая вода достигает его при приближении капиллярной зоны к корнеобитаемому слою.

Засоление, обусловленное длительным нахождением в корнеобитаемом слое грунтовых вод, часто становится причиной заболеваний подземной части растений. В связи с этим урожайность сельскохозяйственных культур существенно снижается. Вместе с тем значительное падение уровня грунтовых вод, вызванное дренированием,

также приводит к снижению урожайности возделываемых культур. Таким образом, объективно необходимо поддерживать оптимальный уровень грунтовых вод (УГВ), т. е. УГВ, дальнейшее снижение которого не приводит к улучшению состояния растений и повышению их продуктивности. Грунтовая вода используется в то же время как дополнительный источник водоснабжения сельскохозяйственных культур (Лысогоров, 1991).

Оптимальный УГВ существенно варьирует в зависимости от типа почв, степени минерализации грунтовых вод и характера их засоленности, вида возделываемых культур и т. д. Такого рода зависимости обычно устанавливают опытным путем в конкретных природных условиях.

Несомненно, что орошение создает предпосылки для улучшения свойств почвы. Однако реализовать их можно при условии оптимального сочетания полива с комплексом агротехнических приемов (правильное чередование культур в севообороте, рациональная обработка почвы, грамотное применение различных видов удобрений).

Засоленные почвы преобладают в засушливых регионах. Однако процесс засоления возможен и при высоком увлажнении. Основная причина ускоренного засоления почв — неправильное орошение, а это возможно во всех природных зонах. При необоснованно увеличенных нормах полива, при потерях оросительной воды из каналов происходят повышение уровня грунтовых вод и подъем растворимых солей по капиллярам почвы.

Установлено, что концентрации солей 0,10...0,15 % являются предельными для очень чувствительных к засолению культур; 0,15...0,35 % вредны для большей части культур; 0,35...0,70 % пригодны для устойчивых культур; более 0,70 % приемлемы для очень устойчивых культур.

При содержании обменного натрия 10...15% от емкости обменных катионов растения плохо развиваются, более 20...35 % — сильно угнетаются. Урожайность хлопчатника при слабом засолении снижается на 20...30 %, кукурузы — на 40...50, пшеницы — на 50...60%. На

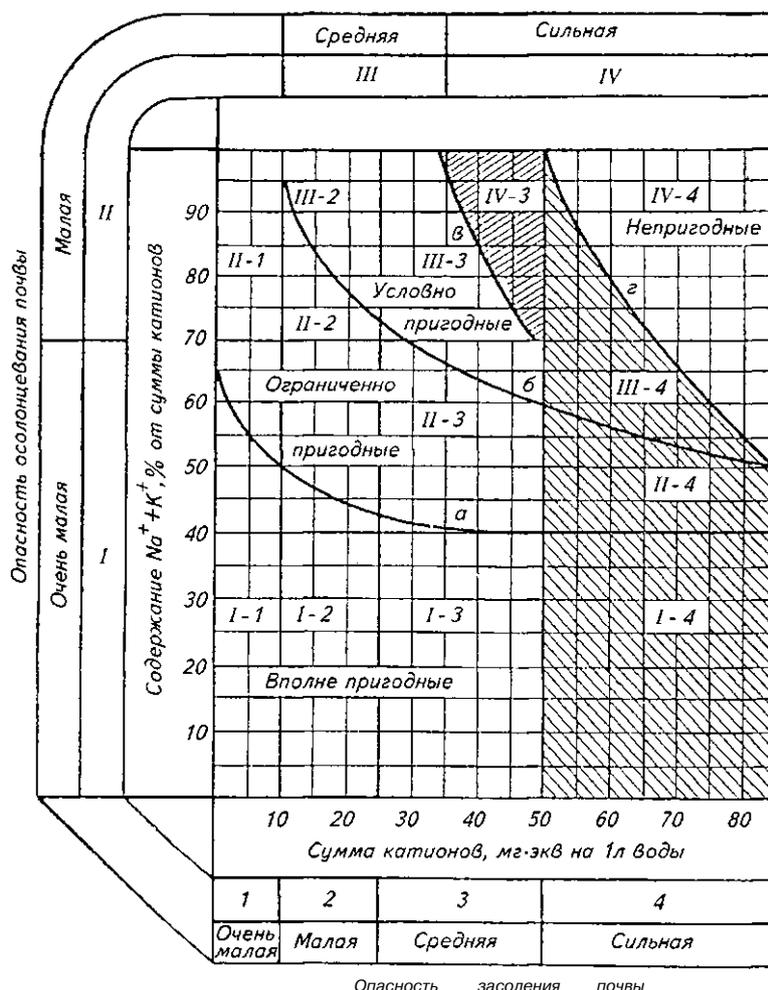


Рис. 12.1. Классификация минерализованных вод по степени пригодности для орошения (Остапов, 1984)

среднезасоленных почвах урожайность хлопчатника уменьшается вдвое; пшеница находится в таком угнетенном состоянии, что погибает.

Для оценки потенциальной опасности вторичного засоления введено понятие о критическом уровне грунтовых вод, при котором начинается засоление корнеобитаемого слоя почвы, приводящее к угнетению и гибели сельскохозяйственных культур. Критическую глубину залегания грунтовых вод — $h_{кр}$ определяют по формуле

$$h_{кр} = h_{max} + \alpha,$$

где h_{max} — наибольшая высота капиллярного подъема в исследуемой почве; α — глубина рас-

пространения основной массы корней сельскохозяйственных растений.

Опыт показывает, чем выше степень минерализации грунтовых вод, тем с большей глубиной идет засоление почв. В среднем при минерализации грунтовых вод 10...15 г/л критическая глубина их залегания составляет 2,0...2,5 м. При орошении рекомендуется поддерживать уровень грунтовых вод не выше этой отметки.

Для предупреждения вторичного засоления требуется устройство дренажа, проведение полива в строгом соответствии с оросительными нормами, отведение минерализованных грунтовых вод в дренажную сеть, применение полива

дождеванием, создание лесных насаждений вдоль каналов. Преимущества, несомненно, имеет капельное внутрипочвенное орошение.

Для удаления солей из почвы проводят многократную промывку пресной водой. На солонцах и солонцеватых почвах (с содержанием более 5... 10 % обменного натрия) рекомендуется применять гипсование или отходы от производства удобрений (фосфогипс), а также трехъярусную вспашку для перемешивания солонцового горизонта с карбонатным.

Эффективный способ снижения засоленности почв — возделывание на них растений, способных поглощать 20...50 % солей в расчете на массу сухого вещества. К таким растениям относятся пырей удлиненный, донник, лядвенец, полевица и др.

В районах орошения наглядно проявляются катастрофические последствия недоучета экологических связей при неупорядоченном и необоснованном заборе воды из рек каналами. Классический пример тому — пересыхание и гибель Аральского моря, с обнажившегося дна которого на большие расстояния разносится соляная пыль.

К сожалению, накапливается все больше и больше примеров того, что при бесконтрольном использовании орошаемых земель огромные площади их превращаются в бесплодные пустыни. Как свидетельствует исторический опыт, это было присуще почти всем районам орошения. По данным ФАО, засоленные земли встречаются на территории 83 стран мира. Основная причина этих труднопоправимых изменений — нарушение равновесия в динамически сбалансированных естественных материально-энергетических круговоротах.

Нарушение равновесия наблюдается и в отношении питательных веществ орошаемых массивов. Непрерывное поступление к растениям элементов минерального питания сопряжено с увеличением в почве запасов органических веществ, прежде всего гумуса, и активной деятельностью полезных групп микроорганизмов, минерализующих органическое вещество.

Оптимальная для микроорганизмов

влажность почвы обычно близка к ее оптимуму для растений, поскольку в природе установилось взаимовыгодное сосуществование тех и других, что подтверждается содержанием микроорганизмов в корнеобитаемом слое почвы. Поэтому создание оптимального для растений водного режима почвы приводит к существенному увеличению численности и активности микроорганизмов. Вследствие этого происходит ускорение процессов разложения органических веществ, в том числе гумуса. Но те же условия способствуют и ускорению новообразования гумуса, являющегося продуктом жизнедеятельности микроорганизмов в условиях обилия органического вещества и элементов минерального питания.

Таким образом, в условиях орошения в почве одновременно протекают два противоположных процесса — ускоренное разложение и активное новообразование гумуса и других органических веществ, и какой из них станет доминирующим зависит от мелиоративных и агротехнических условий (Лысогоров, 1991).

Многовековую историю образования гумуса обычно рассматривают как длительный процесс установления его равновесного содержания в почве соответственно природным условиям. Установившееся подвижное равновесие постоянного разрушения, освобождающего энергию в кинетической форме и элементы питания для растений, и постоянного новообразования гумуса может быть нарушено и направлено в ту или иную сторону деятельностью человека.

Процесс орошения не только приводит к изменению агрохимических свойств почвы, но и оказывает влияние на ее физическое состояние. Однако гранулометрический состав не претерпевает существенных изменений.

В процессе орошения почва несколько обогащается илом, приносимым оросительной водой. Происходит частичное вымывание его из пахотного слоя в более глубокие. Оросительная вода часто смывает мелкие частицы, вызывая эрозию, которая может проявляться даже при небольших уклонах полей, если сила поливной струи значительна. Кроме того, при этом вымывается гумус

и доступные для растений элементы питания, могут быть выведены из строя постоянная и временная оросительные сети. Поскольку ирригационная эрозия проявляется даже при небольших уклонах, важна правильная планировка орошаемых полей, а также повышение водопроницаемости (особенно на тяжелых почвах) путем шелевания. Для предупреждения ирригационной эрозии используют дождевальные машины с низкой и средней интенсивностью дождя (до 0,3 мм/мин). Это позволяет увеличить поливную норму до 800 м³/га без формирования поверхностного стока.

К основным причинам возникновения ирригационной эрозии относят следующие: слабая закрепленность дна и откосов каналов; недостаточная инфильтрационная способность почв; просадка грунтов, ведущая к нарушению нормального профиля канала; засорение оросительной сети; повышенный расход воды в поливных бороздах и полосах. Все эти причины вполне устраняемы при грамотном подходе к процессу орошения. Гораздо сложнее проблема отвода дренажных вод и их воздействия на поверхностные воды в районе сброса, а также на подземные воды.

В среднем КПД оросительных систем во всем мире составляет всего 37 %, что свидетельствует о необходимости всестороннего совершенствования систем и технологий орошения. Упомянутое выше капельное орошение, на которое в первой половине 80-х годов в мировом масштабе приходилось около 420 тыс. га, позволяет значительно снизить расход воды (он на 20...25 % меньше, чем при обычном дождевании, и на 40...60 % — чем при поверхностном поливе). Применяется и так называемое «кувшинное орошение» (например, в Бразилии, Индии). Принципиально важно, что стремлению расширять оросительные системы все больше противопоставляются вопросы эффективности их функционирования.

Б. А. Зимовец и др. (1998) предложили систему экологических ограничений на антропогенные воздействия, связанные с возможностью деградации почв при орошении. Данная система включает экологические ограничения и требования, связанные с возможностью:

деградации физических свойств почв при орошении;

развития засоления, осолонцевания и ошелачивания почв;

подкисления почв;

развития подтопления и заболачивания почв;

развития оросительной эрозии почв;

развития дегумификации почв;

необратимого обеднения минералогического состава почв;

развития загрязнения почв;

неблагоприятного изменения численности и видового состава биоты в орошаемых почвах.

Экологически безопасное функционирование орошаемых агроэкосистем может быть достигнуто только при условии сбалансированного взаимодействия природных и антропогенных факторов с учетом:

требуемых гидротермического, воздушного, окислительно-восстановительного и питательного режимов почв в соответствии с фазами развития возделываемых сельскохозяйственных культур или агрофитоценозов;

оптимальных агро- и гидромелиоративных нагрузок на орошаемые почвы, не приводящих к деградации последних;

необходимых и допустимых агро- и гидромелиоративных воздействий на почвы в естественно или искусственно гидрогеологически и геохимически подчиненных по отношению к орошаемому агроценозу ландшафтах, не вызывающих деградации указанных почв;

допустимых изменений гидрологического и геохимического режимов грунтовых и подземных вод (в первую очередь пресных питьевых, различных минеральных вод и иных);

нормированных изменений гидрологического и геохимического режимов поверхностных вод в районах водозабора, сброса и последующего транзита коллекторно-дренажных вод, обеспечивающих условия жизни различных гидробионтов и человека;

поддержания необходимого или допустимого санитарно-гигиенического состояния всех компонентов данного агроценоза и подчиненных по отношению к нему ландшафтов;

сохранения состава основных и уни-

кальных видов растений и животных (поддержание биоразнообразия) региона, в котором создается орошаемый агроценоз, а также в районах сброса и транзита коллекторно-дренажного стока;

технической надежности эксплуатации инженерных систем (Зимовец и др., 1998).

Для оценки экологической допустимости возможных воздействий на орошаемые почвы разработаны критерии и параметры нормального и неблагоприятного состояния почв, основанные на сумме агрофизических, физико-химических, биохимических, гидрохимических показателей и показателей эрозийной опасности.

12.2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОСУШЕНИЯ*

Осушение земель возникло вместе с сельским хозяйством. Впервые о нем упоминается в письменных источниках четырехтысячелетней давности. Согласно историческим хроникам уже в период греческой цивилизации переувлажненные земли осушали с помощью постоянной системы открытых каналов.

В районах избыточного увлажнения, прилегающих к Северному морю, сооружение осушительных систем начало развиваться в X в. В XVI—XVII вв. оно нашло применение и в других регионах Европы, где осушали болота и проводили водопонижение на территориях, прилегающих к рекам и озерам, а также на приморских низменностях. Воду отводили в водоприемники по открытым каналам. Одновременно проводили работы по устройству защитных дамб в низовьях рек и на побережье морей. В России крупномасштабные работы по осушению болот были начаты в период строительства Санкт-Петербурга и освоения побережья Финского залива.

В 1810 г. в Англии начали производить гончарные дренажные трубки из обожженной глины, что существенно способствовало последующему развитию дренажа. Особенно широкое разви-

тие дренаж получил после создания в 1843 г. машинного пресса для изготовления круглых дренажных трубок. Новый способ осушения быстро распространился в Австрии, Бельгии, Германии, России, США, Франции и других странах.

Общая площадь осушенных земель в мире составляет 160,6 млн га, или более 11 % мировой площади пашни и многолетних насаждений. В бывшем СССР только в земледельческой зоне насчитывалось около 250 млн га переувлажненных земель, но общая площадь осушенных земель составляла всего 12,5 млн га. В Европе осушенные земли составляют 70 % всей мелиорированной площади континента. Осушение болот и заболоченных земель наиболее развито в Великобритании, Венгрии, Италии, ФРГ, Финляндии, Франции, Югославии. В Африке осушенные земли сосредоточены главным образом в Египте, Марокко, Судане.

Перспективы развития осушительных мелиораций в мире оцениваются примерно в 220 млн га.

Общий мелиоративный фонд в районах достаточного увлажнения России составляет 75,3 млн га. В 38 административных образованиях (области, республики) избыточно увлажненные земли составляют около 30 % общей площади сельскохозяйственных угодий, а в отдельных областях превышают 40 %. Большие работы по осушению земель ведутся в Подмосковье (пойма р. Яхрома). Наиболее нуждаются в осушении земли Нечерноземной зоны, Сибири и Дальнего Востока.

Любая осушительная система в целом представляет собой комплекс гидротехнических сооружений и устройств, с помощью которых регулируется водно-воздушный режим болот и заболоченных переувлажненных земель.

Методы осушения зависят от типа питания болот. Так, при атмосферном типе питания обеспечивают ускоренный поверхностный сток; при грунтовом — понижение уровня грунтовых вод; при напорном — снижение напора и уровней напорных вод; при грунтово-напорном — понижение уровня напорных и грунтовых вод; при склоновом — перехват потока поверхностных вод;

*Раздел написан на основе монографии В. Р. Булдея и С. Т. Вознюка «Осушительные мелиорации и охрана природы», 1987.

при намывном — ускорение паводкового стока.

Применяют следующие основные методы и технику осушения (Маслов и др., 1981):

при атмосферном типе питания — устройство открытой системы каналов, закрытых дрен, кротование, глубокую вспашку и др. в сочетании со строительством каналов;

при грунтовом и грунтово-напорном типе — строительство открытых каналов, закрытых дрен и разгрузочных скважин, вертикальный дренаж;

при склоновом типе — строительство нагорных каналов, противоэрозионные мероприятия на склонах;

при намывном типе — строительство дамб, обвалование, регулирование русел рек и речного стока (строительство водохранилищ, переброска части стока в другие бассейны и др.).

Каждый способ осушения характеризуется определенной экологической направленностью, а следовательно, и последствиями, мнения о которых часто бывают неоднозначными, а порой и диаметрально противоположными.

Так, в «Полной энциклопедии русского сельского хозяйства», изданной еще в 1902 г., находим мнение, представляющее интерес в связи с рассматриваемой проблемой. «От времени до времени раздаются у нас в общей и специальной печати голоса, считающие осушение болот в особенности на такой огромной площади, как Полесье, вредным. Периодические засухи нашего юга и востока и обмеление р. Днепр ставят даже в зависимость от осушения Полесья. Взгляд этот, однако, не может быть признан справедливым, тем более, что осушение Полесья пока велось настолько не интенсивно, что скорее именно теперь реки получают отсюда летом ту воду, которая раньше стояла над поверхностью болот и частью испарялась бесполезно для рек». В настоящее время также имеются сторонники мнения о том, что болота являются важным водоохраным фактором и их осушение приводит к уменьшению речного стока. Формированию такого мнения способствовало то обстоятельство, что первые относительно крупные осушительные работы, проводившиеся в европейской

части России, особенно в бассейне Припяти, в последней четверти XIX в. совпали по времени с периодом длительной засухи, поэтому засухи и обмеление Днепра связывали в то время с работами по осушению болот. С конца XIX в. началось практическое изучение влияния мелиорации на речной сток (А. И. Воейков, К. С. Веселовский, Е. В. Оппоков и др.).

Русские ученые А. Д. Брудастов, А. Д. Дубах, А. Н. Костяков, Е. В. Оппоков, а позднее и А. В. Огиевский отмечали, что грамотно проведенные осушительные мелиорации благоприятно влияют на сток рек и окружающую среду.

По данным академика Е. В. Оппокова, торфяная залежь обладает огромной влагоемкостью, высокой капиллярностью и ничтожно малой водопроницаемостью (коэффициент фильтрации торфяной залежи 0,001...0,005 см/ч). Вследствие этого насыщенный с весны водой торфяник удерживает воду, как губка, и расходует ее лишь на испарение.

После мелиорации болот испарение с них сокращается (примерно на 15 %) при одновременном увеличении годового (примерно на 40 %), особенно меженного (в 2,5 раза), стока с мелиорированных речных водосборов. Предубеждение против осушительных мелиораций, с которым приходится иногда сталкиваться, объясняется односторонним подходом к оценке их влияния. В ряде случаев влиянию осушения необоснованно приписывают маловодье рек, вызванное в первую очередь дефицитом осадков.

Мелиорация болот и заболоченных земель, выполненная на научной основе с соблюдением технических условий, в целом благоприятно сказывается на речном стоке, особенно на таких важных при использовании водных ресурсов видах стока, как минимальный и меженный, которые существенно увеличиваются. Отмечаемое же ухудшение водного режима в районах мелиоративных работ связано с недостатками в проектировании, строительстве и эксплуатации мелиоративных систем. Как правило, максимальный сток весеннего половодья и ливневых паводков изменяется мало. Об этом свидетельствуют

результаты исследования отечественных и зарубежных ученых, которые были доложены на Международном симпозиуме по гидрологии заболоченных территорий (Минск, 1972).

Как известно, до осушения болота горизонты грунтовых и поверхностных вод смыкаются. Над территорией периодически выпадают осадки, пополняющие грунтовые и поверхностные воды. Часть осадков испаряется. Поскольку согласно многолетним наблюдениям закономерности выпадения осадков после осушения фактически остаются неизменными, целесообразно рассмотреть, как меняется испарение с водной поверхности и болот при снижении уровня воды в результате создания системы осушительных каналов.

Академик ВАСХНИЛ С.Ф.Аверьянов (1956) установил, что зависимость интенсивности испарения с поверхности грунтовых вод (ϵ) от глубины их залегания можно выразить в виде следующей формулы:

$$\epsilon = \epsilon_0 [1 - (h/h_0)]^n,$$

где ϵ_0 — интенсивность испарения с поверхности; h — глубина залегания грунтовых вод; h_0 — критическая глубина уровня грунтовых вод, испарение при которой равно нулю; ($h_0 = 170 + 8t$; t — среднегодовая температура воздуха, °C); n — показатель степени ($1 < n < 3$).

Если болото не осушено, то вода с поверхности испаряется равномерно. После осушения уровень грунтовых вод снижается и испарение может варьировать от 0 до ϵ_0 согласно закономерности, описываемой формулой С. Ф. Аверьянова.

Вследствие уменьшения испарения с понижением уровня грунтовых вод произойдет их пополнение и кривая депрессии несколько поднимется. После этого снова произойдет незначительное увеличение испарения, которым в приближенных расчетах можно пренебречь. По приближенным расчетам пополнение водных ресурсов за счет уменьшения испарения в результате понижения уровня грунтовых вод при создании каналов осушительной системы составляет примерно 200...500 м³/га. Кроме того, пополнение запасов грунтовых вод происходит также за счет объема воды, заключенной в порах грунта между началь-

ным статическим и конечным динамическим уровнями грунтовых вод. Следовательно, сток после осушения болот увеличивается, и его можно определить по следующим формулам:

$$Q = Q^0 + \Delta Q;$$

$$\Delta Q = 0,5 \epsilon_0 + q_s,$$

где Q — сток после осушения; Q^0 — сток до осушения; ΔQ — объем воды, пополняющий водные ресурсы в результате осушения болот; ϵ_0 — испарение с поверхности грунтовых вод; q_s — объем воды, заключенной в порах грунта между статическим и динамическим уровнями грунтовых вод.

Пополнение водных ресурсов в результате осушения болот можно доказать и с помощью методов математического моделирования, позволяющих определять водность рек и уровень грунтовых вод до и после осушения и заранее предсказать, в каких водоемах понизится водная поверхность и насколько, у каких мелких ручьев прекратится или уменьшится поверхностный сток из-за увеличения мощности подземного.

Физический смысл происходящих при осушении болот процессов раскрывает рисунок 12.2. Согласно рисунку, если болото не осушено, то вода с его поверхности испаряется равномерно (показано стрелками, рис. 12.2, а). После осушения поверхность грунтовых вод снижается и испарение изменяется в соответствии с закономерностью, описываемой формулой С. Ф. Аверьянова. При этом объем испаряющейся воды сокращается примерно вдвое (на рис. 12.2, а — прямоугольник, на рис. 12.2, б — треугольник).

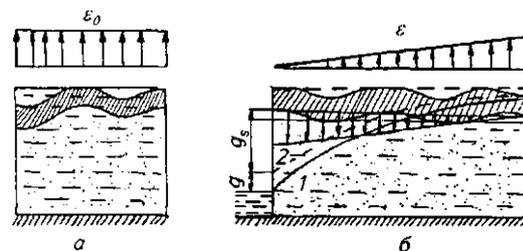


Рис. 12.2. Испарение с поверхности болота:

а — до осушения; б — после осушения; 1, 2 — положение кривой депрессии с учетом и без учета положения поверхности грунтовых вод за счет уменьшения испарения (Булдей, 1987)

В районах осушения воздействие на почвы особенно интенсивно, а любые воздействия на почву (естественные или антропогенные), нарушающие сложившееся в прошлом равновесие, влекут соответствующие изменения в почвообразовании, свойствах почв и их динамике.

Большой вклад в разработку теоретических основ осушения почв внес академик В. Р. Вильяме. Представляют интерес данные им определения. Так, он писал, что почва, которая состоит нацело из органического вещества и в которой процесс развития существенного ее признака — концентрации в ней элементов зольной пищи растений — перешел в стадию регресса, носит название торфа, а природные угодья, в которых этот процесс совершается — болота. Под термином «избыточно увлажненные территории» понимаются всякие земли, не имеющие торфяного слоя с поверхности, на которых наблюдается избыток вод разного происхождения (грунтовых, дождевых или снеговых). Под термином «заболоченные земли» следует понимать природные угодья, в большей или меньшей степени оторфованные.

Значительную роль в болотообразовании играют климат, почва и рельеф. В. Р. Вильяме установил, что болота образуются не только от избытка влаги, но и от обеднения суходольных почв в результате развития почвообразовательных подзолистых процессов. Поэтому болота могут образоваться как на водоемах, так и на суходолах. На пологих берегах водоемов процесс зарастания происходит и на водной поверхности, и на дне. Под водой развиваются большие массы взвешенных в воде микроскопических растений и организмов. Отмирая, они оседают на дно и разлагаются здесь, образуют залежи ила — сапропель. Водоем мелеет. Возникает болото.

Таким образом, в каждом конкретном случае проведения того или иного вида мелиорации необходимо составить четкую картину происходящих процессов, особенно способных вызывать нежелательные изменения, в том числе и экологические. Проводимые мероприятия часто не дают желаемого эффекта, поскольку возможным последствиям не было уделено должного внимания.

Чтобы придать мелиорированной почве свойства, обеспечивающие максимальную продуктивность возделываемых растений, мелиоративные приемы необходимо применять дифференцированно, исходя из особенностей почвенных разностей, специфики природных факторов и т. д. Учет свойств почв, объектов мелиорации и особенностей их функционирования в процессе сельскохозяйственного использования — обязательное условие управления агроценозами.

Установлено, что в процессе сельскохозяйственного использования земель на фоне дренажа происходит некоторое увеличение плотности нижних горизонтов почвы, что можно объяснить перераспределением ее коллоидной части нисходящими потоками воды. В целом наряду с положительным эффектом — возрастанием возможности перевода поверхностного стока в почвенный — возникает угроза потери с дренажными водами самой ценной с точки зрения плодородия коллоидной фракции почвы (потеря элементов питания растений), выноса ее за пределы профиля с последующим осаждением в дренах и заилением их.

Наблюдения за составом дренажных вод таких почв показывают, что вместе с этими водами почва теряет питательные вещества (азот, фосфор, калий). Иногда потери, в том числе и водорастворимых органических соединений, столь заметны, что грунтовые воды в колодцах и реках приобретают цвет чая. (Например, при обильном внесении в почву навоза без дополнительных мер по закреплению продуктов его минерализации в почве.)

Зная свойства почв, строение их профиля и динамику почвенных процессов на фоне дренажа, можно предложить эффективные приемы улучшения почв и повышения их плодородия. Современная наука и практика располагают богатым арсеналом таких приемов. Это, в частности, систематическое обогащение почвы органикой и закрепление ее в профиле кальцийсодержащими соединениями (известь, фосфориты, гипс и др.), внесение научно обоснованных доз минеральных удобрений (с преобладанием в их составе азотных и фосфорных).

Из агромелиоративных приемов на дерново-подзолистых оглеенных почвах эффективно рыхление иллювиального горизонта с одновременным обогащением его кальцийсодержащими веществами или искусственными структурообразователями.

При использовании торфа и торфяных почв учитываются следующие характеристики: элементарный состав органической и минеральной части твердой фазы; степени разложения и гумификации органической части; содержание зольных элементов (зольность).

Осушение и сельскохозяйственное освоение осушенных торфяных почв сопровождаются их осадкой (объемными изменениями). Это объясняется первоначальным обезвоживанием, а затем все более возрастающей ролью биохимических процессов, которые приводят к снижению содержания органического вещества в твердой фазе торфа.

Осушение и сельскохозяйственное использование осушенных торфяных почв приводят к увеличению степени их разложения и гумификации. Повышение степени гумификации твердой фазы торфяной почвы при ее сельскохозяйственном использовании сопровождается увеличением содержания углерода, азота и битумов. Темпы минерализации органического вещества твердой фазы торфяных почв замедляются обратно пропорционально степени его гумификации.

Другая важная особенность торфяных почв — низкое содержание в них элементов минерального питания растений.

Чтобы придать поглощающему комплексу торфяной почвы способность накапливать «про запас» соединения калия, фосфора и других элементов питания растений, необходимо «внешнее» обогащение минеральной частью. Известные специалисты по изучению торфяных почв И. С. Лупиневич и Т. Ф. Голуб (1962) считают, что если основным приемом окультуривания минеральной почвы являются заправка ее органическим веществом и повышение содержания гумуса, то на торфяных почвах, почти сплошь состоящих из органического вещества, положительным фактором является увеличение минеральной части. Чем

выше зольность торфяной почвы, тем большую ценность она представляет для сельскохозяйственных целей.

Результаты полевых опытов по внесению песка, глины и лёсса в осушенные торфяные почвы, проведенных как в нашей стране, так и за рубежом (в Германии, Финляндии), на практике подтвердили эффективность такого приема окультуривания.

Использование данного приема в производственных условиях Новгородской области показало, что добавка минерального грунта в торфяные почвы достаточно результативна: увеличивается плотность; уменьшается полная влагоемкость; создаются условия для наилучшей проходимости сельскохозяйственных машин; снижается подверженность торфяных почв пожарам и эрозии; улучшается водный режим почвы — продолжительность периода с увлажнением, близким к оптимальному, увеличивается на 130...150 дней; улучшается температурный режим почвы — оптимальная температура в корнеобитаемом слое почвы достигается на 15...30 дней раньше; увеличивается сумма положительных температур за вегетационный период примерно на 450 °С; значительно снижается амплитуда колебаний температур; уменьшается вероятность поздневесенних и раннеосенних заморозков; улучшаются агрохимические свойства почвы — снижается кислотность, увеличивается содержание питательных веществ; наблюдается благоприятное влияние на изменение водно-физических свойств почвы, а также ее водного, пищевого и температурного режимов. В конечном счете было обеспечено существенное (до 100 % и более) увеличение урожайности сельскохозяйственных культур и повышение качества продукции (содержание протеина в многолетних травах возросло с 6 до 16 %, белка в ячмене — на 2,0, сахара в капусте — на 2,0, крахмала в картофеле — на 2,5 %).

Изучение динамики свойств торфяных почв на фоне регулируемого водно-воздушного режима позволило В. Р. Будлею и С. Т. Вознюку сделать следующие выводы:

осушение земель и их последующее сельскохозяйственное использование

сопровождаются существенным изменением свойств осушенных почв;

осушение и интенсивное сельскохозяйственное использование осушенных торфяных почв при сохранении их в первозданном виде — задачи, практически не осуществимые;

имеющиеся к настоящему времени научные данные о характере и направленности почвенных процессов и практический опыт сельскохозяйственного использования позволяют трансформировать осушенные торфяные почвы в новый тип окультуренных антропогенных почв с высоким и стабильным эффективным плодородием;

в связи с различиями задач сельскохозяйственного использования и сохранения болотных массивов в рекреационных, научных и других несельскохозяйственных целях необходимо строгое государственное планирование использования этих массивов по назначению.

Безусловно, следует учитывать нежелательные процессы, которые могут развиваться в почвах под влиянием осушения. К ним можно отнести следующие:

а) в минеральных почвах легкого гранулометрического состава — интенсивную минерализацию органической части (растительных остатков и гумуса); подкисление почвенного раствора; появление и вынос продуктов разложения и подвижных веществ, в том числе питательных, с дренажными водами (с последующей возможностью закупорки дрен);

б) в минеральных почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава — аналогичные процессы, но с большей выраженностью подкисления и меньшими потерями подвижных элементов с дренажными водами;

в) в органоменных почвах — обезвоживание органического вещества, его гидрофобизация (несмачиваемость) в результате переосушения; интенсификацию минерализации торфа и образование при этом в избыточных количествах (для растений) аммиака, нитратов и переход их из почвы в воздух в виде молекулярного азота и в грунтовые воды в виде NH^+4 , $\text{NO}3$.

Отмеченные нежелательные явления — результат изменившихся под влиянием осушения гидрологических и

микrokлиматических условий, следствие функционирования сложной системы возникающих взаимозависимостей и взаимообусловленностей.

Надо иметь в виду, что прогнозирование возможных нежелательных изменений в почвах под влиянием их осушения только на основе учета свойств, проявляющихся визуально, часто приводит к ошибочному выводу о благополучии будущего мелиоративного состояния почв, что, в свою очередь, нередко приводит к серьезным ошибкам и необходимости исправления их в дальнейшем. По этой причине существует острая необходимость разработки специальных прогнозов, которые должны быть частью проектов регулирования водно-воздушного и связанных с ним режимов почв.

Сложилось несколько методов разработки почвенно-мелиоративных прогнозов:

метод сравнительных почвенно-мелиоративных аналогий; он позволяет сопоставлять свойства и признаки целинных и мелиорированных почв при различной продолжительности сельскохозяйственного использования на фоне регулирования их водно-воздушного режима гидротехническими приемами;

балансовый метод, основанный на расчетах баланса продуктов почвообразовательных процессов, их компонентов, поступления и выноса веществ из почвенного профиля (чаще всего из корнеобитаемого объема) на единицу площади;

аналитические (математические) методы, основанные на математическом описании почвенных процессов и их вероятной динамики;

метод моделирования процессов почвообразования и перемещения образовавшихся в результате их продуктов вместе с водой.

Известный российский политик и государственный деятель Рамазан Абдулатипов, касаясь функционирования социальных структур, удачно заметил, что если мы не управляем процессами, то они управляют нами. Думается, что этот тезис вполне применим и к экологическим проблемам оросительной и осушительной мелиорации.

Глава 13

ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И ОХРАНА ПРИРОДЫ

13.1. ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

При переводе животноводства на промышленную основу возникла проблема утилизации навозных стоков и бесподстилочного навоза. Вблизи животноводческих комплексов и ферм промышленного типа особую угрозу окружающей среде представляют скопления навоза, а также нитратное и микробное загрязнение почв, фитоценозов, поверхностных и грунтовых вод. Например, на молочных фермах промышленного типа годовой выход навоза составляет в среднем 25,55 тыс. т на 1 тыс. голов.

Поэтому при выборе места для размещения животноводческих комплексов должны быть обоснованы возможности утилизации навоза и производственных стоков с учетом природоохранных требований. При этом учитывают орографические (геоморфологические), эдафические, метеорологические, гидрологические и гидрогеологические факторы, наличие и состояние лесной растительности, сельскохозяйственных угодий (для утилизации навоза в виде удобрений) и селитебных территорий.

Загрязнение среды биогенными элементами и микроорганизмами изучалось В. М. Ивониным и Н. М. Макаровой (1993) в учхозе «Донское», Донского агроуниверситета в балке «Харули». У бровки этой балки размещены овцеферма, ферма по воспроизводству свиней, молочный комплекс и другие источники биогенов.

Полученные данные соответствуют результатам аналогичных исследований, например, в животноводческих районах США, где содержание нитратов в грунтовых водах достигало 76 мг/л. В Швеции в 40 % из 82 обследованных водоисточников содержание нитратов в воде более 30 мг/л, а в 20 % — более

50 мг/л. Сообщая и анализируя эти сведения, В. Г. Минеев и Е. Х. Ремпе (1990) заключают, что животноводческие комплексы становятся мощным фактором негативного воздействия на окружающую среду в результате накопления в них огромного количества бесподстилочного навоза и навозных стоков. Достаточно сказать, что микробное и общее загрязнение в районе расположения таких комплексов в 8... 10 раз превышает естественный фон загрязнения почвенного и снежного покрова.

Загрязнение почв, снежного покрова и вод местного стока биогенными элементами влечет за собой соответствующие изменения показателей качества фитомассы культур на сельскохозяйственных угодьях, примыкающих к животноводческим фермам и комплексам.

Так, динамика биохимического состава зеленой массы многолетних трав (эдификатор — пырей ползучий) на участках склона балки «Харули» (склон выпуклого поперечного профиля с уклонами, изменяющимися от 0,06 до 0,28), примыкающих к свиноферме и овцеферме, определялась положением места отбора проб для анализов.

На участке склона, примыкающем к свиноферме, максимальное содержание нитратов обнаружено в травах, размещенных у подошвы склона — в местах возникновения делювиальных шлейфов почвогрунта и навозных стоков. На участке, примыкающем к овцеферме, очень большое количество нитратов (3575...7915 мг/кг) содержалось в травах, размещенных на скотомогильнике и месте захоронения навоза. Скармливание скоту таких трав может вызвать нитратное отравление.

Угрозу окружающей среде представляют также стоки силосных ям.

Как правило, по дну балок размещают различные пруды и лесные насаждения, что способствует регулированию потоков биогенов и патогенных микроорганизмов. Так, каскад сооружений в

балке «Харули» представлен плотиной пруда — накопителя осветленных стоков, а также плотинами двух буферных прудов, между которыми расположены донные насаждения из клена ясенелистного и ясеня ланцетного. Кроме того, донные насаждения ивы созданы перед верхним урезом воды верхнего буферного пруда.

Сравнительный анализ бактериальной контаминации на различных позициях балочного дна показал, что наибольшее количество патогенных микроорганизмов содержит вода в пруду — накопителе осветленных стоков. Переполняя пруд-накопитель, сточные воды по боковым водообходам поступают под полог донного насаждения ивы, после которого бактериальная контаминация воды резко снижается. После прохождения верхнего буферного пруда и донного насаждения из клена и ясеня вода местного стока вновь пополняется патогенными организмами в связи с дополнительным поступлением сточных вод с селитебной территории учхоза «Донское».

В целом для регулирования потоков биогенов и патогенных микроорганизмов по дну балок следует устраивать каскады прудов (накопителей осветленных стоков и буферных) и других сооружений, а также создавать древесные насаждения.

Автором главы разработан способ предупреждения поступления на балочные донья навозных стоков с территории животноводческих ферм и комплексов, расположенных в прирвовочных зонах нижних звеньев гидрографической сети (рис. 13.1). Сущность его заключается в следующем: ниже фермы 1 поперек склона 2 сооружают первую траншею 3, почвогрунт из которой укладывают в виде основания 4 на нижележащий участок склона 2. Навозные стоки, попадая в траншею 3, впитываются в почвогрунт, оставляя в ней твердую фазу навоза 5. После заполнения твердой фракцией навоза первой траншеи 3 ее засыпают почвогрунтом 6, извлеченным из второй траншеи 7, нарезанной на вышележащем участке склона параллельно первой траншее 3, ниже которой из почвогрунта 6 насыпают вал 8, а на месте первой траншеи 3 высажи-

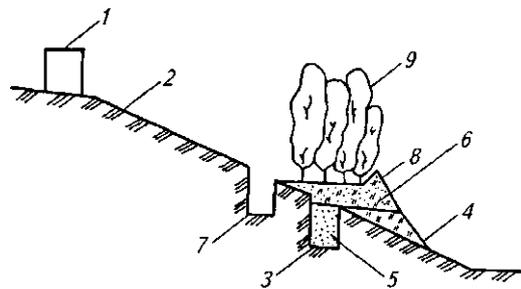


Рис. 13.1. Способ предупреждения поступления на балочные донья навозных стоков с территории животноводческих ферм и комплексов:

1 — ферма; 2 — балочный склон; 3 — первая траншея; 4 — основание из почвогрунта; 5 — твердая фаза навоза; 6 — почвогрунт, извлеченный из второй траншеи; 7 — вторая траншея; 8 — земляной вал; 9 — лесная полоса

вают древесные растения в виде лесной полосы 9.

При этом вторая траншея будет изолировать лесную полосу от поступления навозных стоков с территории фермы, а навоз в первой траншее будет компостирован и утилизирован при росте и развитии древесных растений.

С течением времени, после переполнения твердой фракцией навоза второй траншеи, вновь осуществляют полный цикл работ по сооружению новой траншеи на вышележащем участке склона. Нарезку параллельных траншей, а также создание валов и лесных полос можно последовательно проводить на вышележащих участках склона вплоть до территории фермы.

Такое освоение склонов проводят наряду с работами по эксплуатации систем удаления, переработке, обезвреживанию, транспортированию и использованию навоза, получаемого на животноводческих фермах и комплексах.

13.2. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗНЫХ СТОКОВ

При стойловом содержании скота используют следующие технологические схемы утилизации навоза:

многоступенчатая очистка (с применением гидросмыва) с разделением навоза на твердую и жидкую фракции (первую помещают в штабеля, а вторую — в аэротенки и иные установки для обеззараживания и очистки, из ко-

торых она поступает в пруды — накопители осветленных стоков и на земельные поля орошения);

использование стоков для производства торфокомпостных смесей, которые вывозят на поля биотермического обеззараживания (этот способ рекомендуется для небольших ферм);

очистка стоков с помощью прудов-накопителей и навозохранилищ (отходы при гидросмыве направляют в приемники и хранилища, где жидкость расслаивается на фракции, обеззараживается и идет на поля фильтрации и в водоем; твердая фаза направляется на сельскохозяйственные угодья);

самоочищение и утилизация отходов в естественных водоемах, когда осветленная жидкость из очистных сооружений стекает в пруд-накопитель и далее в водоемы, а осадок используют для изготовления удобрений;

анаэробная переработка (метаногенез), или сбраживание жидкого навоза, благодаря которому в нем гибнут патогенные микроорганизмы, навоз теряет неприятный запах, а семена сорных растений — всхожесть (одновременно получают топливо — метан).

Разделение навоза на жидкую и твердую фазы проводят с помощью виброфильтров, центрифуги или установки с вибростенками (грохоты) и шнековыми прессами. При этом влажность навоза снижается с 90...95 до 62...65 %. Твердую фазу навоза в штабелях (буртах) обеззараживают за счет биотермического самонагрева до 60...70 °С. Плотный навоз или навоз-сыпец применяют при выращивании различных сельскохозяйственных культур, в том числе овощных, в открытом и защищенном грунте.

Обеззараживание жидкого навоза проводят также путем аэрации — продувания воздуха через емкости с навозом (шведская система «Ликом»), пастеризации (нагревание до 70...80 °С), стерилизации острым паром, нагревания до 120... 130 °С. При термическом контактно-газовом обеззараживании струя газа горит внутри жидкого навоза. Этим способом можно обеззараживать и иловый осадок прудов — накопителей осветленных навозных стоков. Кроме того, навоз обеззараживают аммиаком, электрическим током и т. д.

Земледельческие поля орошения (ЗПО) предназначены для приема и окончательного обеззараживания (обезвреживания) сточных вод, в том числе и навозных стоков, с обязательным их использованием для удобрения и увлажнения выращиваемых на полях сельскохозяйственных или лесных культур.

Общая технологическая схема многоступенчатой очистки и утилизации навозных стоков приведена на рисунке 13.2. Эта схема предусматривает использование как установок по обезвреживанию навоза в искусственных условиях, так и естественных прудов-накопителей, буферных прудов, лесных насаждений на путях передвижения сточных вод (ниже прудов — накопителей осветленных стоков), земельные сельскохозяйственных (иногда коммунальных) полей орошения, биологических прудов и т. д.

В лесных насаждениях сточные воды освобождаются от взвешенных и влекомых насосов, которые, участвуя вместе с опадом (подстилкой) в образовании ал-

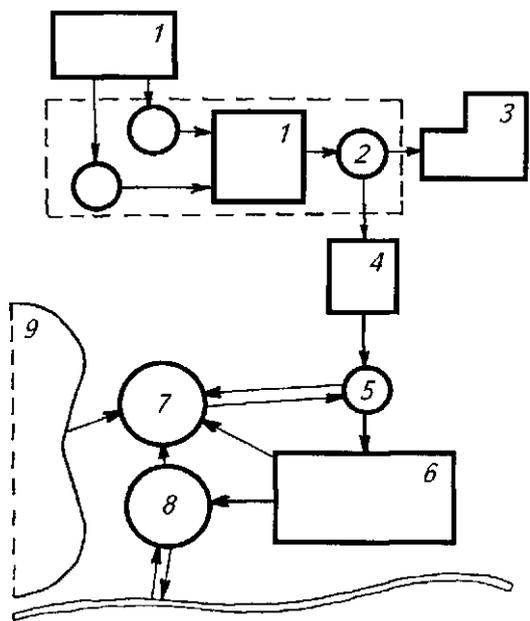


Рис. 13.2. Технологическая схема многоступенчатой очистки навозных стоков:

1 — животноводческий комплекс (с установками по обезвреживанию навоза в искусственных условиях); 2 — система очистных сооружений; 3 — завод торфокомпостов; 4 — накопитель осветленных стоков; 5 — смеситель; 6 — земельные сельскохозяйственные поля орошения; 7 — буферный пруд; 8 — рыболовный пруд; 9 — водохранилище

лювия, включаются в процессы почвообразования; в биологических и буферных прудах осветленные навозные стоки перемешиваются с водами водохранилищ, рек и иных водных объектов и самоочищаются в результате воздействия солнечной радиации, аэрации, жизнедеятельности гигро- и гидрофитов, микроорганизмов и т. п. В прудах-накопителях разбрызгивают жидкую фракцию дождевальной установки (навозный и фекальный запахи сменяются затхлым, желтоватый цвет — серо-желтоватым). При отстаивании и аэрации в сточных водах значительно снижается содержание нитратов и калия, в меньшей степени — аммиака и фосфора. В буферных прудах у воды исчезают запах и цвет, кроме того, в ней резко падает содержание фосфора и калия.

Жидкий навоз используют для приготовления торфокомпостных смесей или торфонавозных компостов. При этом смесь жидкого навоза с торфом выдерживают в буртах в течение 3...4 мес, за это время патогенные микроорганизмы гибнут в результате биотермических процессов. Этот способ применяется в тех районах, где имеются местные запасы торфа. На юге России жидкий навоз можно смешивать с минеральными туками и после высушивания использовать для производства гранулированных удобрений.

Наиболее эффективное направление хозяйственного использования жидкого навоза на животноводческих комплексах молочного направления — утилизация его на полях орошения.

Разработаны различные технологические схемы уборки и использования жидкого навоза. Например, следующие:

навоз из-под шелевых полов удаляют с помощью самотечно-сплавной системы с выпуском его из поперечного канала в навозосборник (его размещают на расстоянии 50 м от фермы), отсюда с помощью насоса по трубам он попадает в бродительные камеры для метаногенеза и далее самотеком в навозохранилище; после перемешивания с водой навоз по навозопроводу попадает в емкость, откуда забирается передвижной насосной станцией и передается к переносной разборной дождевальной установке со среднеструйными дождевальными аппаратами;

навоз подают в навозосборник (по первой схеме), откуда его перекачивают в цех механического обезвоживания; жидкую фракцию самотеком направляют в хранилище, рассчитанное на шестимесячный выход жидкой фракции, откуда ее перекачивают на поле и распределяют по нему с помощью переносной разборной дождевальной установки; плотную фракцию укладывают в штабеля (бурты), расположенные в 100 м от цеха, и после трехмесячного хранения грузят в транспортные средства и вносят в почву роторными разбрасывателями;

навоз подают в навозосборник (по первой схеме), перекачивают в навозохранилище для отстаивания в течение 3...4 мес, затем жидкую часть сливают через шибберные задвижки в жижеборник, перекачивают в поле и вносят с помощью дождевальных установок в почву; плотную фракцию подают грейферными погрузчиками в транспортные средства, вывозят на поля и вносят в почву низкорамными разбрасывателями.

При выборе любой из приведенных выше схем уборки и использования навоза необходимо иметь в качестве резерва автоцистерну или другой мобильный разбрасыватель жидкого навоза вместимостью 4 или 8 т.

Подача жидкого навоза на поля орошения с помощью жижевозов экологически не обоснована, так как зависит от погодных условий, размеров орошаемых участков, их удаленности от ферм, квалификации и добросовестности механизаторов и сопряжена с трудностями контроля за сроками, дозами и качеством удобрительных поливов кормовых угодий.

Данная схема должна предусматривать хранение навоза в навозохранилищах в течение 1...3 зимних месяцев, когда полив жидким навозом может быть затруднен метеорологическими факторами. Однако за трехмесячный период хранения погибают не все патогенные микроорганизмы и гельминты, а обеззараживанию (контактно-газовым способом) подвергают только иловый осадок.

Число жижевозов планируют, исходя из норм технологического проектирования ферм крупного рогатого скота. В качестве примера приведен выход жид-

кого навоза для молочного комплекса на 1000 коров (табл. 13.1).

13.1. Выход навозной массы и расход технологической воды для молочного комплекса на 1000 коров

Показатель	Общий выход		Примечание
	сут	год	
Выход навоза от всех коров и телят, т	58,3	22196	Насчитывается 840 голов продуктивных коров
в том числе от продуктивных	46,2	17862	
Расход воды, м ³ :			
смыв навоза с площадей доильного блока	2,0	730	Площадь 400 м ² , норма 5 л/м ²
санитарная промывка решеток центрального коридора мойка доильной аппаратуры	1,0	365	Площадь 200 м ²
подмывание вымени	2,0	730	Релизеры, молокопроводы, доильные аппараты, шланги 2 раза в сутки по 1 л на голову
смыв навоза в профилактории (72 теленка)	0,43	175	Смыв в сборный, а затем в центральный навозный канал
Итого получено жидкого навоза, т(м ³)	64,53	24488	Объемная масса жидкого навоза равна 1 т/м ³

Следовательно, согласно рассмотренному примеру на комплексе для 1000 коров ежедневно необходимо утилизировать 65 т (м³) навозной жижи (при средней влажности 90...92%), а в год - 24 488 т(м³).

Последний показатель (годовую массу) используют для определения необходимой площади угодий для распределения годового количества жидкого навоза на основе потребности кормовых культур в азоте. Это, однако, не обеспечивает должной точности расчетов и прогноза развития экологической обстановки на полях орошения.

Для улучшения экологической обстановки и рационального использования природных ресурсов разработаны различные способы эксплуатации технологических линий. Так, при гидросмыве применяют рециркуляционный способ, когда навоз из стойл попадает

во внутренний самотечный навозопровод, откуда потоком жижи уносится в приемник, где жидкость осветляется и вновь подается для смыва навоза. Такая система нуждается в периодическом добавлении небольшого количества воды.

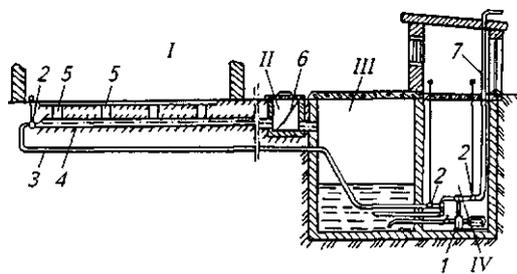
Схема трубо-рециркуляционной системы уборки навоза (рис. 13.3) работает следующим образом. Включают фекальный насос 7 при открытой задвижке в начале самотечного трубопровода 4. Навозная жижа из жижесборника по напорному трубопроводу 3 подается в самотечный трубопровод 4. Навоз, сброшенный через распределительные колодцы 5 в трубопровод 4, вместе с потоком жижи попадает в колодец-уловитель, проходит через сетку 6 и попадает в жижесборник.

При необходимости навозная жижа из жижесборника при соответствующем положении задвижки 2 подается с помощью насоса по трубопроводу 7 на выгрузку. Цикл рециркуляции навозной жижи требует ее обеззараживания.

Способы подготовки навозной массы подразделяют на две группы: способы гомогенизации и способы обезвреживания.

Гомогенизации (однородность) навозной массы достигают путем ее тщательного перемешивания и измельчения по всему объему жижесборника (мешалки механические, пневматические и гидравлические).

Обезвреживают жидкий навоз посредством термофильного метанового сбраживания в метантенках, термической обработки (контактно-газовой) на



13.3. Схема трубо-рециркуляционной системы уборки навоза:

I — коровник; II — колодец-уловитель; III — жижесборник; IV — насосная станция; 1 — насос фекальный; 2 — задвижка; 3 — трубопровод напорный; 4 — трубопровод самотечный; 5 — колодцы; 6 — сетка уловительная; 7 — трубопровод для выгрузки

установке для огневого обезвреживания конструкции ВИЭСХ, аэробной обработки с применением аэраторов-измельчителей фирмы «Альфа-Лаваль», перемешивающих жидкий навоз с воздухом.

Применение закрытых трубопроводов экологизирует технологию транспортировки подготовленного жидкого навоза на орошение культур прифермских кормовых угодий.

13.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

По определению Европейской биотехнологической федерации, биотехнология — это совместное использование биохимии, микробиологии и химической технологии для промышленного применения полезных качеств микроорганизмов и культур тканей.

Экологическая биотехнология решает вопросы охраны окружающей среды (переработка отходов, защита компонентов среды от загрязнения, рациональное использование природных ресурсов и т. п.) с помощью соответствующих технологических процессов.

Как следует из предыдущего изложения, интенсивное разведение скота приводит к локальному накоплению навоза, количество которого часто значительно превышает естественный потенциал биодеградации.

Компостирование навоза применяют для получения компостогумифицированного продукта биологического окисления, который содержит органические соединения, продукты распада, биомассу мертвых микроорганизмов и др. Внесение этого продукта в почву не вызывает нарушения стабильности агроэкосистем. Компостирование — это экзотермический процесс биологического окисления, в котором органический субстрат подвергается аэробной биодеградации смешанной популяцией микроорганизмов в условиях повышенной температуры и влажности и превращается в безопасный и ценный продукт для агрохимических мелиорации почв.

В процессе компостирования удовлетворяется потребность в кислороде, выделяются диоксид углерода и вода,

возрастает температура и органические вещества переходят в стабильную форму. При сборе навоза в бурты сохраняется часть тепла, выделяющегося при ферментации, что ускоряет процессы компостирования.

Для улучшения аэрации навоза, а также для снижения влажности и повышения отношения углерода к азоту навоз смешивают с наполнителями (солома злаков, листья, мусор, щепа и др.).

В процессе компостирования выделяют четыре стадии: мезофильную, термофильную, остывание и созревание. Первые три протекают быстро (дни или недели). Стадия же созревания длится несколько месяцев. В это время происходят сложные реакции между белками погибших бактерий и остатками лигнина, приводящие к образованию гуминовых кислот. В этот период рекомендуется поддерживать в буртах температуру около 55 °С, для чего иногда применяют принудительную вентиляцию. Рекомендуемая оптимальная влажность находится в пределах 50...60 %, минимальное свободное газовое пространство должно быть около 30 %, а концентрация кислорода в газовой фазе — 10...18 %. Следует выдерживать следующие размеры бурта (кучи): длина — любая; высота — 1,5 м; ширина — 2,5 м (при естественной аэрации).

Бурты (компостные ряды) имеют треугольную форму поперечного сечения. Их размещают на бетонированных площадках. Навоз с наполнителем загружают в разбрасыватель, где эта масса перемешивается, а затем сбрасывается (укладывается) при постоянном медленном движении машины. Затем с помощью шеста диаметром 75 мм в бурте делают вертикальные отверстия до основания через 1 м друг от друга. Через месяц бурты переворачивают (с помощью погрузчика). Через два-три месяца компост окончательно созревает.

В странах Западной Европы используют технологию «движущихся» компостных рядов, применяя разбрасыватель с ленточным транспортером для образования компостного ряда небольшой высоты. Через 3...4 дня к этому ряду добавляют новую порцию навозной массы. Выдерживая ритм, работы повторяют, пока высота ряда не достигнет 2 м (при

этом он не нуждается в периодическом переворачивании).

В Китае разработан специфичный способ компостирования навоза. Его слои укладывают вперемежку со слоями измельченных стеблей растений. Каждый ряд содержит 40 % стеблей, 30 % сельскохозяйственных стоков и твердых отходов и 30 % навоза. Общая высота кучи, которая включает от 7 до 10 слоев, составляет 1,5 м, ее длина 6...7 м, ширина 2...3 м. Система аэрации создается с помощью бамбуковых палок диаметром 100 мм, сложенных на расстоянии 1,5...2 м друг от друга и 0,3 м от основания. Горизонтальные палки сочетают с вертикальными, размещая их через 1 м друг от друга. По завершении укладки кучу покрывают слоем ила толщиной 0,3 м. Бамбуковые палки извлекают через 24 ч, сохраняя отверстия для аэрации. Переворачивают кучу через 2 нед, а компост используют через 2...4 мес.

Переработку навоза на кормовые добавки ведут несколькими путями: извлечение из навоза или помета кормовой (питательной) части; применение навоза в качестве питательной среды для производства кормовых дрожжей, выращивания личинок мух и водорослей; культивирование червей для получения кормового белка.

Наиболее известна французская технология переработки навоза крупного рогатого скота на кормовые добавки «Церико», основанная на выделении из навоза сырого протеина, углеводного (энергетического) вещества и биогенных элементов (НРК).

Сухое вещество экскрементов сельскохозяйственных животных содержит 20...25 % общей энергии рациона и 16 % сырого протеина.

В результате технологических операций переработки навоза получают: продукт С¹ — силос (влажность 60 %; в сухом веществе содержится, %: протеина — 7,3, жира — 2, клетчатки — 28, БЭВ — 51,7, золы — 11); продукт С² — протеиновый концентрат (влажность 10 %; в сухом веществе содержится, %: протеина — 27, жира — 6, клетчатки — 2, БЭВ — 55, золы — 10); продукт С³ — органическое удобрение и технологическая вода.

Первой технологической операцией

является направление навоза в приемную камеру для перемешивания и извлечения крупных тяжелых предметов, откуда его перекачивают в четыре бетонные камеры (150 м³) — ферментёры. Навоз последовательно проходит через все четыре камеры, находясь и перемешиваясь в каждой по одному дню. Он должен иметь влажность 78 ± 2 % и рН 5,6...6. На четвертый день навоз из последнего (четвертого) ферментёра подают в сепараторы для выделения продукта С¹.

При второй операции происходят выделение и ферментация продукта С¹. Вначале в сепараторах выделяют растительные волокна, зерновые пленки, непереваренные зерна и прочие включения размером более 0,8 мм. Выделенная и отжатая (влажность 55...60 %) твердая фракция является сырьем для получения продукта С², а жидкую фракцию отделяют и отводят в камеру для дальнейшей обработки и получения продуктов С³ и С².

Продукт же С¹ поступает в бункер, а затем в силосную башню, где он проходит ферментацию в течение 10...12 сут (силосование происходит в результате развития молочнокислых бактерий, а обезвреживание — благодаря высокой температуре силосной массы — 60...70 °С).

При третьей технологической операции жидкая фракция, полученная в результате второй операции, подается из камеры на циклично работающую (в автоматическом режиме) центрифугу. Цикл длится в течение 6...7 мин, если жидкая фаза навоза поступает в центрифугу при частоте вращения 1500 мин^{-1} , затем ее снижают до 200 мин^{-1} и происходит автоматическая разгрузка отсепарированного твердого осадка. Этот осадок (песок, глина, органические конгломераты) влажностью 60 % и является продуктом С³, который используют как удобрение.

Выделение, сушка и гранулирование продукта С² происходят при четвертой технологической операции, когда жидкая фракция, полученная на центрифуге (после отделения продукта С³), накапливается в камере, а затем перекачивается в батарею испарителей. Предварительно жидкость подогревают до 80 °С при пониженном давлении

(= 20 кПа). Полученный концентрат содержит 28 % сухого вещества, затем его высушивают до порошкообразного состояния при температуре 70 °С. Этот порошок (продукт С²) — ценный белковый корм (по кормовой ценности и содержанию лизина его приравнивают к соевому шроту). Вертикальным шнеком его направляют в гранулятор, а затем в бункер готовой продукции.

При заключительной (пятой) операции проводят дезодорирование и использование технологической воды, которую получают при конденсации и сушке продукта С². При этом пар поступает в охладитель, а полученная вода направляется в приемную емкость. Дезодорация происходит в башне при распылении форсунками воды из емкости. После разбавления такой воды обычной водопроводной водой (1:1) ее можно использовать для поения откармливаемых животных или для увлажнения навоза при его ферментации.

Продукты С¹ и С² используются для кормовых целей, а продукт С³ — как удобрение.

13.4. САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫЕ ЗОНЫ И ЗЕЛЕНые НАСАЖДЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ И КОМПЛЕКСОВ

Животноводческие фермы и комплексы отделяют санитарно-защитными зонами (СЗЗ) от жилой застройки сельских населенных пунктов. Такую зону устанавливают от границы территории, на которой размещаются здания и сооружения для содержания животных, а также от площадей навозохранилищ или открытых складов кормов (табл. 13.2).

Со стороны жилой зоны в СЗЗ предусматривают лесные полосы шириной не менее 48 м (18 рядов) при ширине СЗЗ свыше 100 м.

Со стороны животноводческого комплекса или фермы для защиты их от снежных наносов, песка и пыли в СЗЗ создают лесные насаждения. Кроме того, лесные насаждения создают и на территории фермы и комплексов для отделения живой защитой навозохранилищ, очистных сооружений, площадок компостирования, буртов навоза и т. п.

13.2. Ширина санитарно-защитных зон до границы жилой зоны

Предприятия и объекты	Ширина зоны, м
Животноводческие фермы КРС (производство молока и говядины; выращивание нетелей и молодняка):	
до 1000 голов	300
1000...5000 голов	500
более 5000 голов	1000
Свиноводческие фермы:	
до 12 тыс. голов в год	500
12...54 тыс. голов в год	1200
более 54 тыс. голов в год	2000
Овцеводческие и звероводческие фермы	300
Конеvodческие и кролиководческие фермы	100
Птицеводческие фермы:	
до 100 тыс. кур-несушек и до 1 млн бройлеров в год	300
от 100 до 400 тыс. кур-несушек и 1...3 млн бройлеров	1000
более 400 тыс. кур-несушек и более 3 млн бройлеров в год	1200
Сооружения для обработки жидкого свиного навоза (от 12 до 54 тыс. голов в год)	500... 1500
То же для навоза крупного рогатого скота	300... 1000
Хранилища жидкого навоза (открытые)	500...2000
Хранилища отработанной жидкой фракции навоза	500
Площадки для компостов, буртов твердой фракции навоза, карантинирования подстилочного навоза	300
Пруды — накопители осветленных стоков, буферные и биологические пруды	200

от животноводческих и служебных помещений, пунктов осеменения, складов кормов. Эти насаждения размещают таким образом, чтобы не затруднять циркуляцию воздуха на территории ферм и комплексов.

Одной из немаловажных причин сложившегося положения с навозом служит прогрессирующее до последнего времени отделение животноводства от земледелия и перевод его на промышленную основу. Земледелие для животноводства становится лишь поставщиком кормов, точнее даже поставщиком сырья для промышленного производства концентрированных кормов. Обратная связь между этими отраслями практически отсутствует, а это уже существенное нарушение экологической сбалансированности природного цикла веществ.

Глава 14

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗАЦИИ

●

Одна из интереснейших страниц истории развития человеческого общества связана с возникновением, становлением и развитием противоречий между человеком и появившейся в процессе его общественно-производственной деятельности техникой, с одной стороны, и природой — с другой. Как пишут авторы серьезной коллективной монографии «Человек — техника — природа» (Ключников В. П. и др., 1990), техника — важнейший элемент производительных сил общества, совокупность средств труда, развивающихся в системе общественного производства, а также приемов и методов воздействия на природу в процессе производства материальных благ.

Важнейшие составляющие производственного цикла в сельском хозяйстве — вспашка, посев, обработка, уборка и переработка полученной продукции. Для осуществления соответствующих рабочих процессов необходимо оснащение отрасли высокопроизводительными, надежными, долговечными и экологически оправданными машинами. При этом в основе технического вооружения лежат закономерности земледельческой механики, заложенные почетным академиком АН СССР и академиком ВАСХНИЛ В. П. Горячкиным. Согласно этим закономерностям технику следует обязательно рассматривать в связи с живой природой, живыми организмами. Земля и ее плодородие — одно из основных богатств, данных человеку природой. Задача агротехники, опирающейся на машинные технологии, — беречь и приумножать эти богатства.

Возможности сельскохозяйственной техники зависят не только от количества машин и оборудования. Это и понятно, если учесть, что она эксплуатируется в очень сложных условиях, связанных с сезонностью работы, непродолжительными сроками кампаний, агрессивными средами, усиленным аб-

разивным износом, форсированными режимами, огромными вибрационными и динамическими нагрузками, хранением без эффективных средств консервации и достаточной коррозионной защиты. Кроме того, в сельскохозяйственных машинах практически не применяются высокопрочные металлы и новые композиционные материалы. В результате многие узлы редко работают положенные 7...8 лет, выходя из строя за 2...3 года. (Очевидное увеличение материалоемкости стимулирует расход природных ресурсов, а в конечном счете косвенное негативное воздействие сельского хозяйства на окружающую природную среду.)

Создавая системы энергетических, технологических, сельскохозяйственных и других машин, человек с помощью техники облегчает свой труд, но при этом как бы отчуждает себя от природы. Поэтому по мере повышения роли техники во взаимодействии человека с природой все большую актуальность приобретают вопросы экологичности применяемых технических средств и всего производства.

Широкомасштабное использование техники в сельском хозяйстве способствует росту производительности и эффективности труда, однако оно сопряжено и с отрицательными последствиями, исключение и минимизация которых является одной из насущных задач «экологизации» аграрного сектора.

А. Б. Левин и Д. Н. Мурусидзе (1989) разработали примерный перечень производственных процессов, связанных с применением средств механизации и возможных в связи с этим отрицательных последствий.

1. Использование мобильных энергетических средств (автомобили, тракторы, самоходные сельскохозяйственные машины): 1 — химическое, механическое и акустическое загрязнение атмосферы; 2 — загрязнение окружающей среды жидкими нефтепродуктами; 3 —

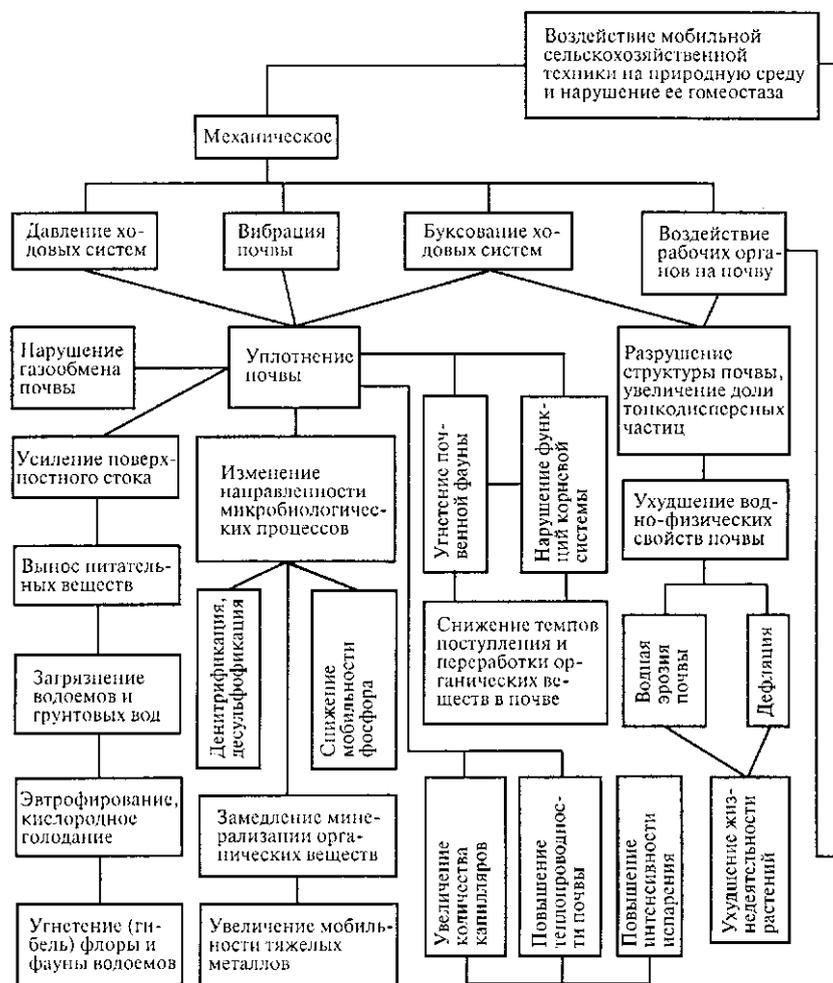


Рис. 14.1. Воздействие мобильной сельскохозяйственной техники

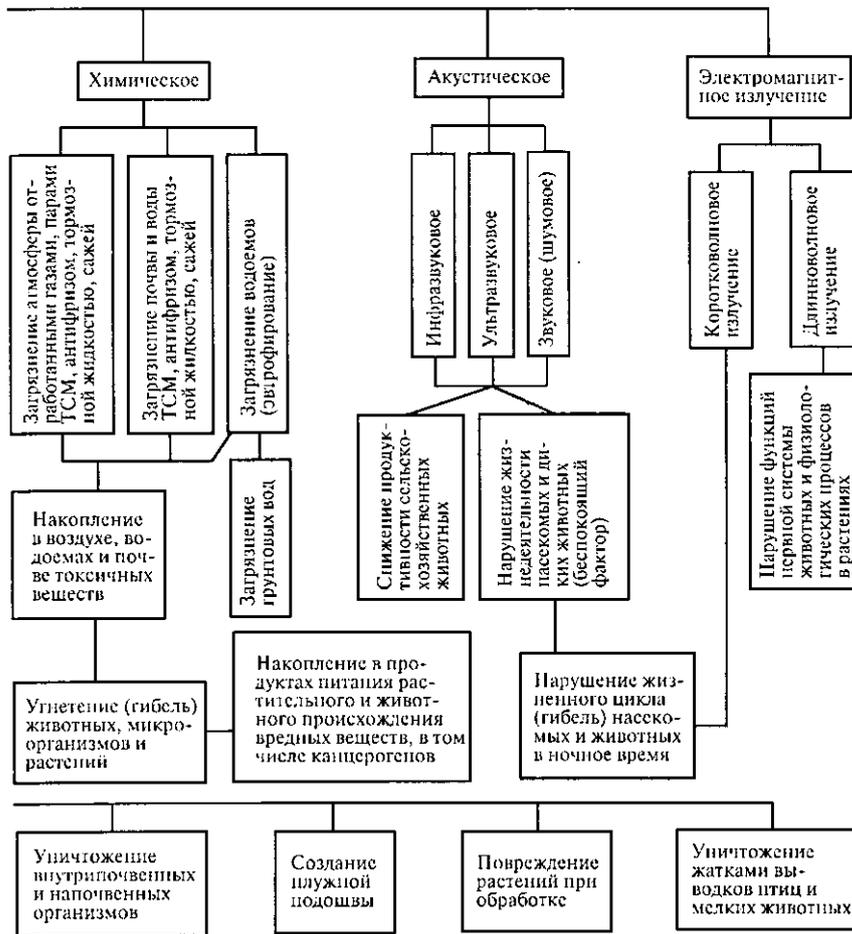
уплотняющее и разрушающее действие на почву в результате давления, динамического воздействия и вибрации.

II. Обработка почвы: 1—развитие водной, ветровой и технической эрозии; 2 — образование плужной подошвы и связанные с этим последствия; 3 — увеличение тягового усилия в результате уплотнения почвы.

III. Внесение минеральных и органических удобрений и защита растений: 1 — загрязнение воды и почвы химическими веществами и болезнетворными организмами; 2 — отрицательное воздействие пестицидов на живые организмы и на экологические системы в целом.

IV. Возделывание и уборка корне- и клубнеплодов: 1 — развитие эрозии, уплотнение плодородного слоя почвы; 2 — вынос земли с поля при транспортировке недостаточно очищенных корне- и клубнеплодов с поля; 3 — повреждение клубней картофеля и корнеплодов и связанные с этим потери продукции при хранении.

V. Уборка зерновых и кормовых культур: 1 — количественные потери зерновых — улучшение условий питания для вредителей; 2 — потери зеленой массы при ее погрузке на транспортные средства; 3 — качественные потери — дробление и травмирование зерна; 4 — гибель животных под ножами косилки



на природную среду (Вакулин, 1996, с изменениями)

при движении уборочных агрегатов в сгон.

VI. Сушка, очистка, сортировка и хранение зерна и семян. Получение травяной муки: 1 — загрязнение окружающей среды топочными газами в процессе сушки; 2 — получение недостаточно очищенного посевного материала в результате некачественной очистки и, как следствие, увеличение засоренности посевов; 3 — повреждение зерна и семян и потери продукции при хранении.

VII. Эксплуатация машинно-тракторного парка. Загрязнение окружающей среды и разрушающее воздействие на ее компоненты в результате: 1 — использования энергонасыщенных ма-

шин с большой массой и высокой скоростью движения; 2 — наличия неисправностей и недостатков в организации использования МТП; 3 — проведения технических обслуживания и уходов при отсутствии соответствующего оборудования и специальных площадок; 4 — недостатков в организации нефтехозяйства (плохое состояние резервуаров, раздаточных средств и т. д.); 5 — отсутствия теплых обогреваемых помещений для дизельных автомобилей и тракторов; 6 — загрязнения окружающей среды металлами из-за коррозии при хранении сельскохозяйственных машин и несвоевременной сдачи списанной техники.

VIII. Мелиорация: 1 — осушение — уничтожение плодородного слоя почвы, понижение уровня грунтовых вод, разрушение природных экосистем; 2 — орошение — переувлажнение, заболачивание и засоление почв; подъем уровня грунтовых вод; разрушение плодородного слоя почвы при повышенной интенсивности дождя, создаваемого дождевальными агрегатами, и при промывке почв.

IX. Механизация производственных процессов в животноводстве: 1 — загрязнение и заражение окружающей среды навозом; 2 — загрязнение окружающей среды при промывке доильной аппаратуры и молочного оборудования, при мойке корне- и клубнеплодов; 3 — загрязнение воздушного бассейна газами, образующимися в процессе жизнедеятельности животных и разложения навоза, а также пылью и микроорганизмами при вентиляции помещений.

Приведенный перечень позволяет заблаговременно и достаточно целенаправленно формировать комплекс необходимых природоохранных мероприятий по каждому выделенному блоку.

С классификацией А. Б. Левина и Д. Н. Мурусидзе хорошо сочетается предложенная А. А. Вакулиным (1996) схема воздействия мобильной сельскохозяйственной техники на природную среду, приводящего к нарушению ее гомеостаза (рис. 14.1).

Применяемые технологии выращивания сельскохозяйственных культур предусматривают многократное воздействие ходовых устройств машинно-тракторных агрегатов на почву.

В результате неоднократного передвижения машин по полю происходит значительное переуплотнение почвы, которое распространяется на большую глубину (до 100 см), а машинные «следы» покрывают до 80 % поля. Под влиянием тяжелой техники (данные ВИМ, МСХА им. К. А. Тимирязева, Почвенного института им. В. В. Докучаева) плотность почвы возросла к настоящему времени на 20...40 %. Угнетение активности почвенных микроорганизмов, переуплотненные почвы и нарушение ее структуры, снос перемолотой почвы водой и ветром, т. е. машинная деградация почвы, — все это отрицательные

последствия воздействия на пашню ходовых систем и рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

Оптимальная плотность почвы (объемная масса — ОМ) составляет 1,1 г/см³. Колеблется же она у минеральных почв от 1,0 до 1,8 г/см³, а у почв с невысоким содержанием гумуса от 1,3 до 1,6 г/см³. Под воздействием ходовых систем сельскохозяйственной техники плотность суглинистых почв, оптимальное значение которой составляет 1,0...1,2 г/см³, повышается на 0,1...0,3 г/см³ и более, достигая 1,35...1,7 г/см³, а ОМ нижних горизонтов почв с плотным сложением — 1,6...1,8 г/см³. Плотность пахотного слоя варьирует в широких пределах — от 0,8 до 1,6 г/см³. Объемная масса торфянистых почв колеблется от 0,04 — 0,08 г/см³ (целинные верховые болотные почвы) до 0,2 — 0,3 г/см³ (старопашотные низинные болотные почвы).

По данным Эстонского НИИ земледелия и мелиорации, до обработки ОМ в слое 10...20 см составляла 1,18...1,36 г/см³, после прохода тракторов различных марок повысилась до следующих значений (г/см³):

Т-74	1,33...1,44
МТЗ-50	1,38...1,44
Т-150К	1,48...1,51
К-700	1,62...1,63

По данным И. С. Рабочева, допустимые нагрузки на почву при летних и осенних работах не должны превышать 0,4...0,6 кг/см²; при влажности не более 60 % — 1,0...1,5 кг/см². Фактическое же давление колесных тракторов 0,85...1,65 кг/см², гусеничных — 0,6...0,8, прицепов — 3,0...4,0, зерноуборочных комбайнов — 1,8...2,4 кг/см² (рис. 14.2).

Серьезным последствием уплотнения почвы является увеличение ее удельного сопротивления. Удельное сопротивление почвы — наиболее важная механическая характеристика, которая в значительной степени зависит от переуплотнения почвы различными движителями и ходовыми системами. Оно соответствует усилию, затрачиваемому на подрезание пласта, его оборот и трение почвы о рабочую поверхность орудия.

К. И. Курочкин (1989) приводит сле-

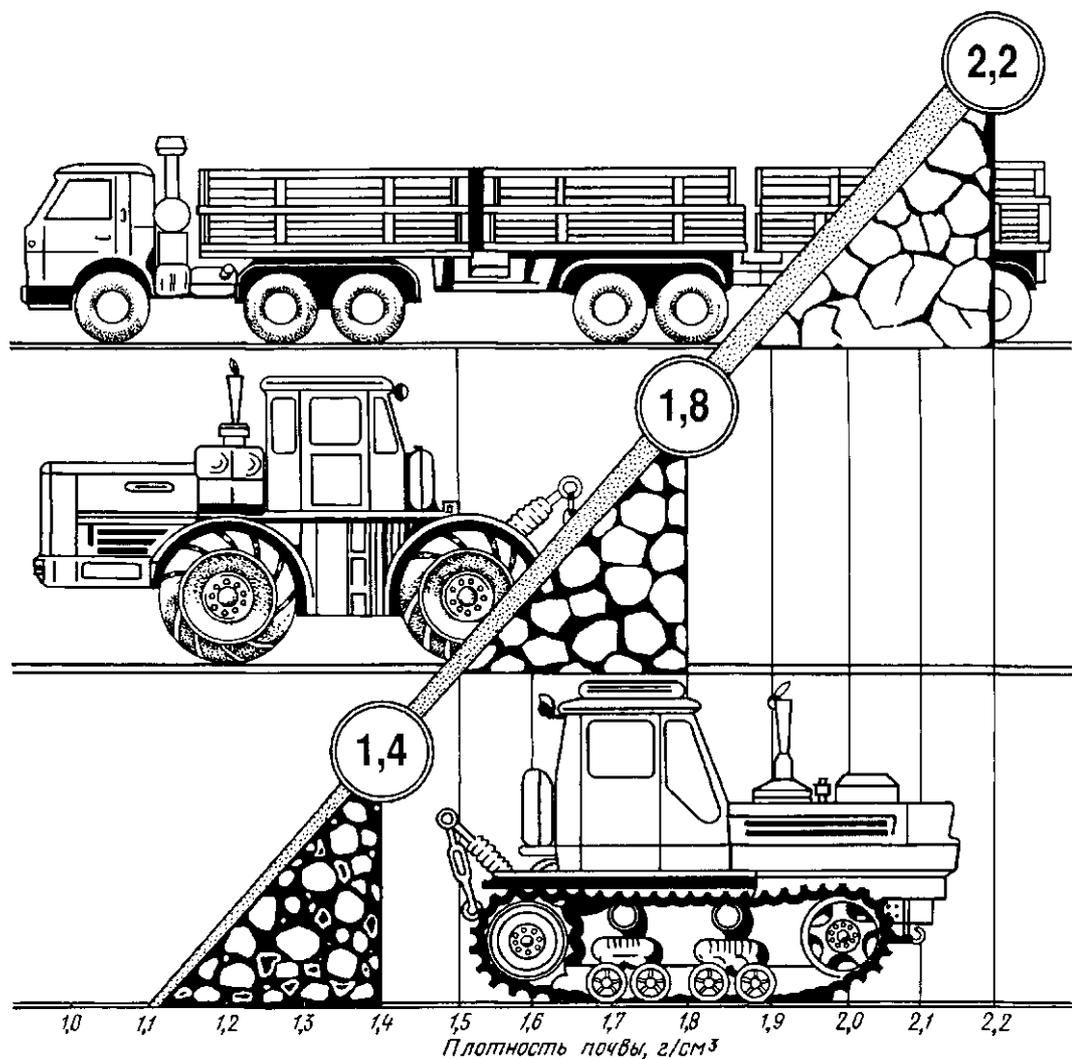


Рис. 14.2. Изменение плотности и структуры почвы под воздействием ходовых систем сельскохозяйственной техники (Курочкин, 1989)

дующие данные об изменении удельного сопротивления.

Воздействие на почву	Увеличение удельного сопротивления почвы, %
Вспашка:	
гусеничным трактором	16...25
тяжелым колесным трактором (К-700, Т-150К)	44...65
Транспортные перевозки:	
тяжелым колесным трактором и автомобилем	44...65
транспортным агрегатом (2...3 прицепа)	72...90

Из-за увеличения сопротивления почвы существенно возрастает перерасход топлива. В СНГ эта величина в расчете на год оценивается в 1 млн т.

При переуплотнении ухудшается крошение почвы. Пашня становится глыбистой, что приводит к неравномерной заделке семян, снижению их полевой всхожести, а в итоге — к значительному недобору урожая.

Высокая плотность почвы обуславливает резкое ухудшение ее физико-химических и агрофизических свойств.

Уплотненные почвы оказывают большое сопротивление проникновению в них корневых систем растений, в таких почвах ухудшается водно-воздушный и питательный режимы, развиваются эрозионные процессы.

Корни древесных и кустарниковых растений не проникают в почву, плотность которой превышает $1,6 \text{ г/см}^3$. Корни озимой пшеницы с трудом проникают в почву при плотности слитого чернозема $1,42 \text{ г/см}^3$, а при плотности $1,5 \text{ г/см}^3$ вовсе не проникают.

Повышение плотности почвы на $0,1 \text{ г/см}^3$ приводит к недобору 6...8 % урожая. Общие потери урожая, обусловленные уплотнением почвы, например, на черноземных почвах достигают 45 % в год (Воробьев, 1987).

Результаты модельных опытов показали, что при однократном уплотнении поверхности поля тракторами МТЗ, ДТ-75 и Т-74 урожаи озимых и яровых зерновых, а также кормовых культур снижаются на 8 %; Т-150 — на 16, К-700, К-700А и К-701 — на 19 %. При 2- или 3-кратных проходах этих машин потери урожая составляет 16, 22 и 27 % соответственно.

В США ежегодные потери от уплотнения почвы оцениваются в 1,18 млрд долларов. По подсчетам немецких специалистов, из-за переуплотнения почв не добывается около 50 % урожая.

Только из-за переуплотнения урожайность зерновых снижается на 20 %, картофеля — на 40...50 %, кроме того, теряется до 40 % НРК.

Превышение оптимальной плотности пахотного слоя почвы только на $0,1 \text{ г/см}^3$ приводит к снижению урожайности зерновых на 0,2...1,0 т/га, а картофеля — на 1,5...2,5 т/га (рис. 14.3).

Уплотнение почвы представляет несомненную угрозу для биологических систем из-за влияния на подвижность токсикантов. В опытах, проведенных на лесных дерново-подзолистых почвах, установлено изменение содержания подвижных форм токсичных металлов (ТМ) в зависимости от уплотнения почвы. Так, при увеличении плотности почвы с $1,0...1,1$ до $1,4...1,6 \text{ г/см}^3$ подвижность свинца возрастала в 2,5 раза (Мосинаидр., 1984).

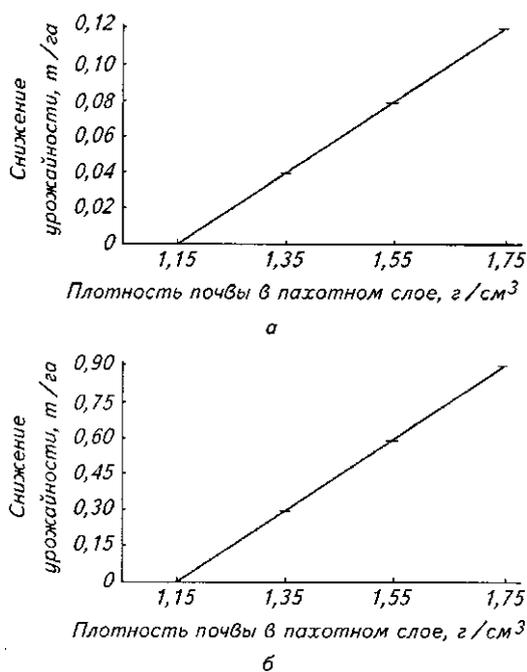


Рис. 14.3. Снижение урожайности зерновых (а) и картофеля (б) при увеличении плотности почвы (Курочкин, 1989)

Меры по снижению уплотнения почв включают:

- организационно-технологические мероприятия;
- агротехнические приемы по повышению устойчивости почв к уплотнению и их разуплотнению;
- совершенствование сельскохозяйственной техники, ее ходовых систем с доведением давления на почву до допустимых значений.

Организационно-технологические мероприятия предусматривают разработку и внедрение технологий возделывания сельскохозяйственных культур с минимальным проходом по полям тяжелой колесной техники (совмещение операций). Особенно актуально снижение числа технологических операций при возделывании технических культур, кукурузы на зерно, картофеля и овощей, когда почва испытывает наибольшую нагрузку как в процессе посева (посадки) и ухода за культурами, так и при их уборке.

К агротехническим приемам относятся окультуривание почв и повышение содержания в них гумуса.

Для разуплотнения почв применяют рыхление, в том числе и орудиями с активными рабочими органами (фреза и др.), пахотного и подпахотного слоев (чизели, глубокорыхлители). Сочетание рыхления с внесением органических удобрений и кальцийсодержащих веществ приводит к значительному снижению негативных последствий машинной деградации почв (МДП).

Важно, чтобы на полях работали только такие механизмы, давление движителей которых на почву не превышает 0,1 МПа, поэтому лучше использовать гусеничные движители или колесные с эластичными шинами, давление которых на почву составляет соответственно 80...100 и 30...60 кПа.

Энергосберегающей технологией при минимальной обработке почвы предусмотрено использование комбинированных машин, позволяющих выполнять несколько технологических операций за один проход (Курочкин, 1989).

Так, агрегат РВК-3,0 за один проход совмещает рыхление почвы на глубину до 12 см с выравниванием поверхности и прикатыванием. При этом почва меньше уплотняется и распыляется, повышается ее устойчивость к эрозии. Кроме того, сокращается потребность в технике и топливно-смазочных материалах (на 8...27 %), а затраты средств и труда сокращаются на 18...35 % (рис. 14.4 и 14.5).

Вспашка поля при помощи отвальных плугов сопровождается разрушением поверхностных слоев почвы. При этом уничтожаются травяной покров и дернина, запахиваются стерня и другие пожнивные остатки, защищающие почву от выдувания и смыва, не исключено также выворачивание на поверхность менее плодородных слоев почвы.

В районах господства ветровой эрозии следует применять бесплужное рыхление почвы при помощи плоскорезов. В сочетании с внедрением лугопастбищных севооборотов, правильным че-

редованием культур, нарезкой полей перпендикулярно направлению ветров, полосным размещением культур и другими приемами такая система позволяет свести к минимуму разрушение почвы, обеспечить рациональное использование земли, повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Общие потери почвы с продукцией и на рабочих органах сельскохозяйственных машин, колесах и гусеницах (особенно во влажную погоду) достигают примерно 16 %. В дождливую погоду с корнями из самого плодородного слоя выносятся до 4 т/га почвы. На московские овощные базы ежегодно вместе с картофелем и овощами завозится до 100 тыс. т почвы, что равносильно потере ее 30-сантиметрового слоя на площади 43 га. Ежегодный же суммарный унос почвы составляет 1,5 млрд т (Рабочев, 1978). Действенным средством борьбы с МДП являются, как уже отмечалось, агрофильные (почвозащитные) ходовые системы (АХС).

Использование современной сельскохозяйственной техники приводит к загрязнению окружающей среды, в том числе и почвы. Это связано с использованием в качестве топлива нефтепродуктов, доля которых в сельскохозяйственном секторе бывшего СССР составляла около 40 % их общего потребления.

Сельское хозяйство США в 1985 г. потребляло 27 млн т жидкого топлива, в том числе 8 млн т бензина и 14,7 млн т дизельного топлива.

Основные потребители жидкого топлива — тракторы, автомобили, сельскохозяйственные комбайны. Выбросы отработанных газов из низкорасположенных выхлопных труб вызывают такое загрязнение окружающей среды, которое можно сравнить с воздействием на атмосферу крупных промышленных предприятий (это объясняется особенностями загрязнения приземного слоя). В этом отношении заслуживают внимания данные о токсичности отработанных газов (табл. 14.1 и 14.2).

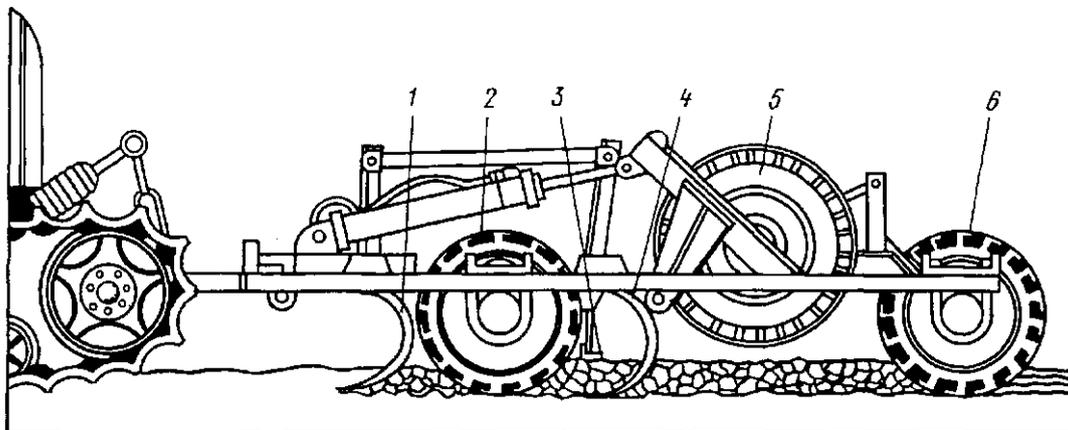


Рис. 14.4. Комбинированный агрегат РВК-3,0 для обработки эрозивно неопасных почв (Курочкин, 1989):
 1 и 4— пружинные зубья; 2 и 6— кольчато-шпоровые катки; 3— выравнитель; 5— транспортное колесо

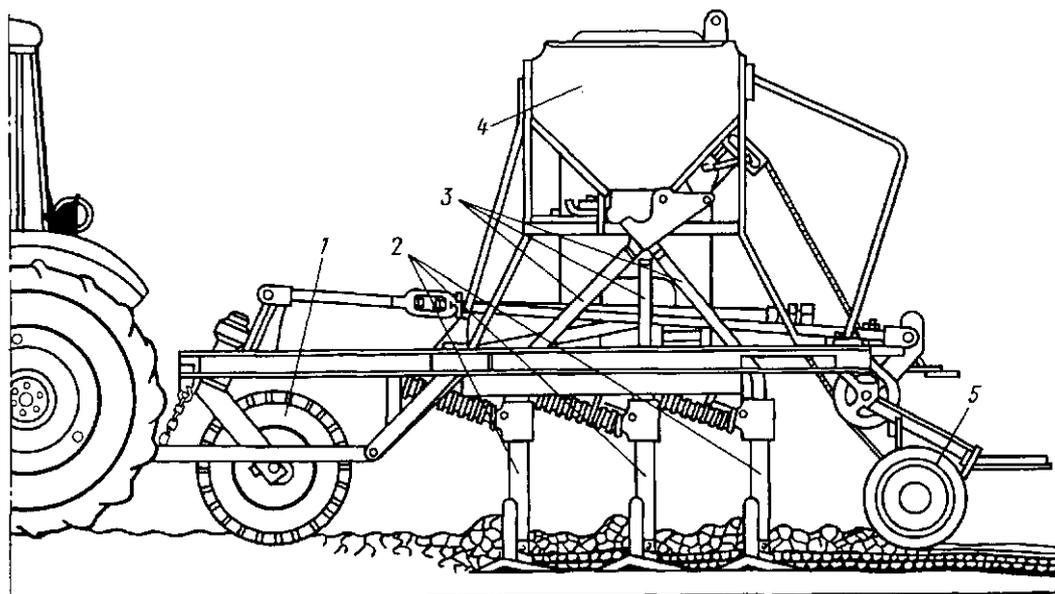


Рис. 14.5. Комбинированный агрегат для обработки эрозивно опасных почв (Курочкин, 1989):
 1— опорное колесо; 2— сошники; 3— семяпроводы; 4— зернотуковый ящик; 5— прикатывающий каток

14.1. Содержание вредных веществ в отработанных газах двигателей внутреннего сгорания (ДВС), % (Боева, 1982)

Тип двигателя	СО	NOx	C ^m H ⁿ	SO ²	Альдегиды	Бенз(а)-пирен, мг/м ³	Сажа, г/м ³
Карбюраторный	0,2...6,0	0,4...0,45	0,01...0,35	0,006	0,004...0,2	10...20	0,05...0,4
Дизели с неразделенной камерой	0,05...0,3	0,02...0,2	0,05...0,5	0,01...0,03	0,004...0,2	До 10	0,1...1,0

14.2. Образование токсичных веществ при сжигании органического топлива, г/кг (Боева, 1982)

Вредное вещество	Бензин	Дизельное топливо	Природный газ	Мазут	Уголь
СО	274	7,1	Незначит.	0,05	0,09
C ^x H ^y	24	16,4	—	Нет данных	
NOx	13,5	26,4	0,063	13,8	9,07
Сажа	1,4	13,2	0,24	0,46	1,95
Свинец	8,4	—	Нет данных		0,018
Бенз(а)-пирен	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$10,5 \cdot 10^{-5}$	—	X	X
SO ²	1,1	4,8	0,0006	27,7	60,4
Альдегиды	0,5	1,2	Нет данных		

Примечание: X — при сжигании нефти и угля в атмосферу выбрасывается 99 % полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), образующихся при сжигании всех видов топлива.

Данные, приведенные в таблицах 14.1 и 14.2, свидетельствуют о преимуществах дизельных двигателей перед карбюраторными по содержанию в отработанных газах СО и свинца, но по другим компонентам (особенно сажа, бенз(а)-пирен, альдегиды), приходящимся на 1 кг сгоревшего топлива, дизельные двигатели уступают карбюра-

торным. Заметим, что по степени опасности СО — наименее вредный из образующихся загрязнителей воздуха.

Представляет интерес сравнительная оценка экономического ущерба (ЭУ) при работе различных типов двигателей (табл. 14.3).

Из данных таблицы следует, что основной вклад в ЭУ от карбюраторных ДВС вносит свинец (более 96 %); ЭУ от дизельных ДВС обусловлен в основном (96,8%) сажой (49,7%), бенз(а)-пиреном (25,3 %) и оксидами азота (21,8 %).

Несомненно, что ключевая проблема использования сельскохозяйственной техники — это сохранение не только плодородия, но и самих почвенных ресурсов. По мнению академика ВАСХНИЛ В. А. Кубышева, в обозримой перспективе в развитии почвосберегающей техники выделяются три направления: минимизация обработки почвы; снижение давления на почву и облегчение машин; создание распределительных систем.

В более отдаленной перспективе будут разработаны специальные почвообрабатывающие инструменты, удовлетворяющие требованиям, определяемым жизнью почвы.

14.3. Экономический ущерб (ЭУ) от обобщенных выбросов вредных веществ (ВВ) в атмосферу карбюраторными и дизельными ДВС (Боева и др., 1989)

Вредное вещество	ЭУ от выброса 1 т примеси, руб/т	Карбюраторный ДВС		Дизельный ДВС	
		выброс, т	ЭУ, руб/т	выброс, т	ЭУ, руб/т
Оксид углерода	∞	1,0	∞	1,0	∞
Углеводороды	10,1	0,14	1,41	0,56	5,66
Оксиды азота	329	0,061	20,1	270	—
Сернистый газ	132	$3,48 \cdot 10^{-3}$	0,46	0,2	26,4
Сажа	3320	$2,86 \cdot 10^{-3}$	9,5	0,185	614
Свинец	$101 \cdot 10^3$	$1,23 \cdot 10^{-3}$	2204	—	—
3,4-бенз(а)-пирен	$11 \cdot 10^3$	$0,38 \cdot 10^{-6}$	38,3	$0,38 \cdot 10^{-6}$	313
Сумма ЭУ от оксида углерода, оксидов азота и углеводородов			29,5		283
ЭУ от всех ВВ			2282		1236
ЭУ от всех ВВ за вычетом свинца			77,7		1236

Глава 15

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ РАДИОЭКОЛОГИЯ

●

15.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сельскохозяйственная радиоэкология — раздел агроэкологии, изучающий миграцию радионуклидов в сфере агропромышленного производства и действие ионизирующих излучений на растения и животных, а также на агроэкосистемы в целом. В прикладном плане сельскохозяйственная радиоэкология разрабатывает принципы ведения сельского хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и комплекс защитных мероприятий, обеспечивающих производство агропромышленной продукции, отвечающей радиологическим стандартам. Важное значение сельскохозяйственной радиоэкологии как самостоятельного направления агроэкологии определяется тем, что искусственные радионуклиды относятся к числу наиболее значимых поллютантов (загрязняющих веществ) окружающей среды, а принявшие глобальные масштабы радиоактивное загрязнение и увеличение природного радиационного фона признаны одними из важнейших негативных изменений в современной биосфере.

У истоков радиоэкологии как самостоятельной научной дисциплины стоял выдающийся отечественный ученый В. И. Вернадский (1863—1945), создавший учение о ноосфере — единстве биосферы и человеческого разума и показавший исключительную важность явления радиоактивности для эволюции биоты и окружающей среды в целом. Сельскохозяйственная радиоэкология как наука зародилась в 50-х годах текущего столетия, когда в результате испытаний ядерного оружия биосфера оказалась подвергнутой глобальному радиоактивному загрязнению продуктами ядерных взрывов. Термин «сельскохозяйственная радиоэкология» был введен в 1956 г. основоположником этой научной дисциплины В. М. Клечковским (1900—1972), учеником акаде-

мика Д. Н. Прянишникова. Значительный вклад в развитие сельскохозяйственной радиоэкологии внесли отечественные ученые И. В. Гулякин, Е. А. Федоров, Г. Г. Воккен, Б. Н. Анненков, Н. А. Корнеев, Е. В. Юдинцева, Б. С. Пристер, Г. Н. Романов, А. Н. Сироткин, Н. П. Архипов, В. А. Киршин, В. А. Бударков, Р. М. Алексахин, а из зарубежных специалистов Р. С. Расселл, Л. Фредрикссон, С. Л. Комар.

Попадая в окружающую человека среду, радиоактивные вещества становятся источником его внешнего облучения, а потребление радионуклидосодержащих сельскохозяйственных продуктов приводит к формированию источника внутреннего облучения человека из-за накопления радиоактивных веществ в его организме. В различных радиологических ситуациях, связанных с поступлением радионуклидов в природную среду, именно внутреннее облучение вносит основной вклад в суммарное облучение человека. Так, после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. поступление ^{137}Cs (одного из основных компонентов радиоактивных выпадений) с пищевыми продуктами обеспечивало до 70—80 % общей дополнительной (аварийной) дозы облучения населения. Существенная роль внутреннего облучения в структуре дозовых воздействий на человека при радиоактивном загрязнении окружающей среды служит еще одним аргументом, подчеркивающим важное значение исследований по сельскохозяйственной радиоэкологии.

15.2. ИСТОЧНИКИ РАДИОНУКЛИДОВ В АГРОСФЕРЕ

О количестве радионуклидов в источнике судят по их активности, единицей которой является беккерель ($1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$), в сельскохозяйственной радиоэкологии широко используют так-

же другую единицу этой величины — кюри (1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк). Присутствующие в сельскохозяйственной сфере радионуклиды разделяют на две категории — естественные и искусственные. К группе естественных относят составляющие компоненту природного радиационного фона радионуклиды с очень длительным периодом полураспада, содержащиеся в составе Земли как планеты с момента ее образования (наиболее важные среди них ^{40}K , тяжелые естественные радионуклиды ^{238}U и ^{232}Th , а также продукты их распада и некоторые другие). Кроме того, биогенно значимые естественные радионуклиды посту-

пают на Землю из воздуха (^3H , ^{14}C и др.) (табл. 15.1). Некоторые естественные радионуклиды (^{40}K , ^{226}Ra и др.) играют важную роль при миграции по сельскохозяйственным цепочкам. Вторую группу радионуклидов составляют искусственные радионуклиды, т. е. радионуклиды техногенного происхождения. К числу наиболее важных в сельскохозяйственном отношении радионуклидов этой группы относят продукты деления урана и плутония — ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs и некоторые другие, а также нуклиды с наведенной активностью (^{54}Mn , $^{55,59}\text{Fe}$, ^{60}Co , ^{65}Zn и др.) и трансурановые радионуклиды (^{239}Pu , ^{241}Am и др.).

15.1. Содержание важнейших естественных радионуклидов в некоторых объектах агросферы, Бк/кг (Алексахин, 1992)

Объект агросферы	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{238}U
Почвы*	90...720	6...2500	25(7...50)	25(10...50)
Сельскохозяйственные растения**	95...500	$1,9 \cdot 10^{-2}$...0,5	$4 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$... $6,0 \cdot 10^{-3}$
Молоко	40	$3,7 \cdot 10^{-4}$... $8,7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Мясо	70	$1,6 \cdot 10^{-2}$... $7,4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$... $1,2 \cdot 10^{-2}$

*В расчете на пахотный слой почвы (0–25 см).

**Продуктивные органы.

Основными источниками техногенных радионуклидов в агросфере являются остаточные количества долгоживущих радионуклидов, поступивших в нее в результате испытаний ядерного оружия, а также выбросов и сбросов радионуклидов при работе атомных электростанций и других предприятий полного ядерного топливного цикла (предприятия по добыче уранового сырья, заводы по переработке отработавшего ядерного топлива и др.). Особую проблему представляет безответственное отношение к радиоактивным отходам на этих предприятиях, в результате которого радионуклиды поступают в окружающую среду и включаются в миграцию по сельскохозяйственным цепочкам. В последние годы растет число ядерных технологий, применяемых в различных отраслях хозяйственной деятельности человека, при этом не исключено поступление радионуклидов в биосферу. Очень серьезным

источником техногенных радионуклидов для окружающей среды явились крупные радиационные аварии в атомной промышленности и ядерной энергетике — авария на Южном Урале в 1957 г., в Уиндскейле (Великобритания) в 1957 г. и на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 г. Остаточные количества радионуклидов сохраняются на полигонах, где проводились испытания ядерного оружия, и прилегающих к ним территориях (Семипалатинский полигон, о. Новая Земля). Рост химизации сельского хозяйства ведет к увеличению применения удобрений и мелиорантов с повышенным содержанием естественных радионуклидов. Это связано, в частности, с тем, что некоторые виды горного сырья, используемого при получении минеральных удобрений (в первую очередь фосфорных), обогащены ^{238}U , ^{232}Th и дочерними продуктами их распада.

15.3. МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПОСЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ЦЕПОЧКАМ

Поведение радионуклидов в почве. Почвенная оболочка биосферы — педосфера — один из основных компонентов в природе (наряду с Мировым океаном), в которых происходит локализация искусственных радионуклидов, сбрасываемых в окружающую человека среду вследствие его техногенной деятельности. Почва обладает уникальной сорбционной способностью по отношению к поступающим в нее в микроколичествах искусственным радионуклидам, что имеет двойное значение для их миграции в биосфере и, в частности, по сельскохозяйственным цепочкам (рис. 15.1). С одной стороны, закрепление радионуклидов в верхних горизонтах почвы — в корнеобитаемом слое создает длительно действующий природный источник радиоактивных веществ для корневого поглощения растениями. С другой стороны, сильная сорбция радионуклидов твердой фазой почвы ограничивает их поглощение корневыми системами растений. Эти особенности сорбции радионуклидов почвенным поглощающим комплексом обеспечивают длительное поддержание в наземной среде процессов накопления растениями долгоживущих радионуклидов.

Поведение радионуклидов в почве определяется прежде всего тем, что они находятся в ней в ультрамикронцентрациях. Например, при содержании радионуклидов₂ в почве, равном 37 кБк/м² (1 Ки/км²), их массовые доли в пахотном слое почвы равны: ⁹⁰Sr ($T_{1/2} = 28,5$ года) - $2,4 \cdot 10^{-12}$ %, ¹³⁷Cs ($T_{1/2} = 30,17$ года) - $3,9 \cdot 10^{-12}$ %, ⁹⁵Zr ($T_{1/2} = 63,98$ сут) - $1,6 \cdot 10^{-14}$ %. Исключение составляет небольшая группа естественных тяжелых радионуклидов: например, массовые доли ²³⁸U и ²³²Th в почве равны соответственно $(3...4) \cdot 10^{-4}$ и $(4...9) \cdot 10^{-4}$ %. Очень низкая массовая доля радионуклидов с $T_{1/2} < n \cdot 10^{-2}...$ 10 лет обуславливает существенную зависимость поведения радионуклидов в почвах от концентрации и свойств их изотопных и неизотопных носителей.

Являясь изотопами химических эле-

ментов, радионуклиды характеризуются такими же физико-химическими свойствами, что и стабильные изотопы этих элементов. Однако тождественность поведения радионуклидов и их стабильных изотопных аналогов может наблюдаться только в случае равновесного распределения в почве физико-химических форм привнесенных радионуклидов, с одной стороны, и нативных форм их стабильных аналогов — с другой, т. е. при достижении полноты изотопного обмена во всех компонентах почвы. Время наступления равновесного распределения радионуклидов во многом зависит от свойств почвы (реакции и состава почвенного раствора, количества и состава почвенных коллоидов, содержания гумуса, влажности и др.), а также от исходной физико-химической формы радионуклидов.

Поступившие в почву «свежие» техногенные радионуклиды первоначально являются новыми компонентами в природной среде и постепенно, по мере «старения», становятся менее доступными для поглощения корневыми системами растений, что происходит вследствие усиления сорбции радионуклидов твердой фазой почвы, вхождения их в кристаллическую решетку глинистых минералов и т. п. Скорость «старения» разных техногенных радионуклидов неодинакова, например, для ¹³⁷Cs характерно интенсивное «старение», а ⁹⁰Sr, наоборот, в течение длительного времени сохраняется в почвах в обменном состоянии. Явление «старения» радионуклидов имеет важное значение в случае аварийного загрязнения почв, когда первое время радионуклиды находятся в относительно биологически доступной форме. Поглощение почвой подавляющего большинства радионуклидов определяется процессами их распределения между двумя основными фазами — твердой и жидкой (почвенный раствор) и осуществляется главным образом благодаря процессам сорбции — десорбции радионуклидов, осаждения — растворения труднорастворимых соединений и коагуляции — пептизации коллоидов.

Подвижность радионуклидов в почвах принято оценивать с помощью коэффициента распределения (K), рав-

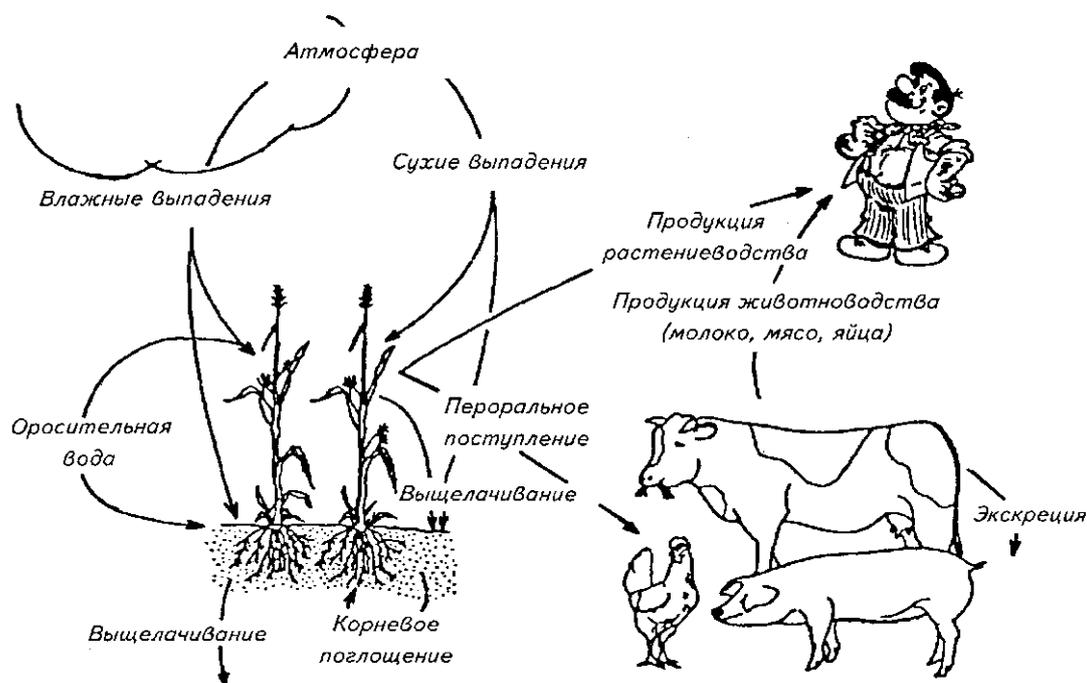


Рис. 15.1. Схема основных путей миграции радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам

ного отношению равновесных концентраций радионуклидов в твердой фазе почвы и в почвенном растворе. Для таких важных в радиологическом отношении нуклидов, как ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{144}Ce и ^{239}Pu , K_p равен соответственно 26...449, 164, 0,55, 1100...11 400, 1100 и 1040...42 800 $\text{см}^3/\text{г}$ (разница в K_p определяется физико-химическими свойствами почв, в первую очередь содержанием глинистой и илистой фракций).

По типу поведения в почвах радионуклиды можно разделить на несколько групп. Для радионуклидов Zn , Cd и Co характерна не обменная сорбция, а их вероятные механизмы закрепления в почвах — адсорбция почвенными минералами и образование комплексов с органическими и органоминеральными лигандами. Радионуклиды Na , Rb и Sr сорбируются почвами преимущественно по обменному типу. Длительное нахождение долгоживущего техногенного радионуклида ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28,5$ года) в почвах в обменной форме приводит к тому, что он становится одним из наиболее важных в загрязнении сельскохозяйственной продукции. Радионукли-

дам I , Ce , Pm , Zr , Nb , Fe и Ru свойственно многоформенное поведение с образованием комплексов и осаждением (коагуляцией) коллоидов. Для ^{137}Cs характерна достаточно сильная фиксация твердой фазой почвы, причем важную роль в этом процессе играют такие глинистые минералы, как клиноптилолит (^{137}Cs включается в кристаллическую решетку этих минералов, переходя в недоступную для поглощения корневыми системами форму). Хотя ^{137}Cs сорбируется почвами прочнее, чем ^{90}Sr , длительный период полураспада ($T_{1/2} = 30,17$ года) и биологическая значимость этого щелочного радионуклида определяют его важную роль в загрязнении сферы сельскохозяйственного производства. Для многих радионуклидов (в частности, I) существенное значение имеет образование соединений с органическим веществом почвы.

Радионуклиды, поступившие на почвенно-растительный покров из воздуха, первоначально концентрируются в верхнем слое почвы 0...2 см, а затем начинают мигрировать по ее профилю. Вертикальное перемещение радионук-

лидов в неперепахиваемых почвах приводит к постепенному перераспределению радиоактивных веществ в пределах корнеобитаемого слоя, а следовательно, и к изменению их поглощения корневыми системами растений и снижению мощности дозы облучения. Разработаны различные модели транспорта радионуклидов по профилю почвы. При вертикальной миграции радионуклидов в почве обычно учитываются два механизма, определяющие скорость этого процесса, — конвективный и квазидиффузионный.

Исходя из предположения о наличии состояния динамического равновесия между радионуклидами, находящимися в твердой и жидкой фазах, для описания миграции радионуклидов по профилю почвы обычно используют уравнение конвективной диффузии

$$\frac{\partial q(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 q(x, t)}{\partial x^2} - \omega \frac{\partial q(x, t)}{\partial x} - \lambda q(x, t),$$

где $q(x, t)$ — средняя по всем фазам концентрация радионуклидов; $D(x, t)$ — эффективный коэффициент квазидиффузии; ω — линейная скорость переноса радионуклидов под действием потока влаги; λ — постоянная радиоактивного распада.

В качестве примера на рисунке 15.2 показано распределение ^{90}Sr в профиле дерново-подзолистой почвы европейской части России ($D=0,3 \text{ см}^2/\text{год}$, $\omega=0,5 \text{ см/год}$).

Накопление радионуклидов растениями. Радиоактивные вещества могут поступать в растения через надземные органы (при аэральном выпадении радионуклидов на почвенно-растительный покров и задержании их надземной фитомассой) и через корни (при почвенном усвоении радионуклидов). Особенностью аэрального (некорневого) перехода радионуклидов является фактически неселективная адсорбция всех поступивших на надземные части растений радионуклидов с возможным включением в цепь миграции всей смеси радионуклидов (дискриминация радионуклидов начинается на этапе физиологически активной инкорпорации радиоактивных веществ во внутренние ткани). Иная картина характеризует почвенный путь перехода радионуклидов, где почвы выступают как природный

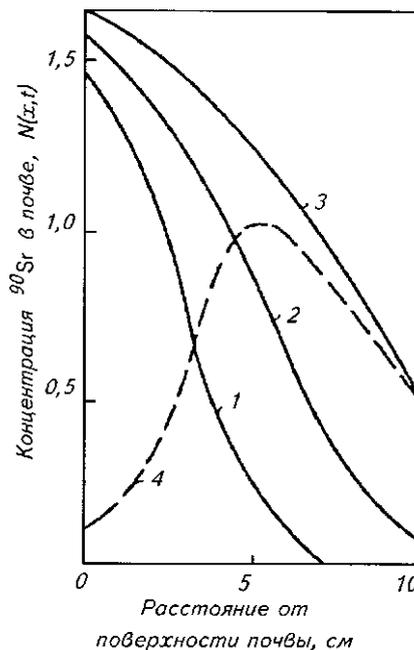


Рис. 15.2. Распределение ^{90}Sr в профиле почвы в безразмерной форме $N(x, t) = q(x, t)q_0$ при поступлении радионуклида на поверхность почвы, равном q_0 .
Время выпадения ^{90}Sr на почву t :

1 — 5 лет; 2 — 10 лет; 3 — 15 лет; 4 — через 5 лет после 10-летних выпадений (Кириченко, 1970)

сорбент, а корневые системы растений поглощают радионуклиды селективно в соответствии с закономерностями минерального питания растений.

Интенсивность поступления радионуклидов в растения из почвы принято оценивать с помощью коэффициента накопления (или концентрационного отношения) K_n , равного отношению концентраций радионуклида в растениях и почве соответственно. Если аккумуляцию растениями радионуклидов из почвы определяют в расчете на золу растений, то соответствующее отношение называют коэффициентом биологического поглощения (КБП). Другим, часто используемым (особенно в практике) показателем способности растений накапливать радионуклиды, является коэффициент перехода K_p , равный отношению концентрации радионуклидов в растениях к плотности загрязнения почвы, который обычно выражают в $(\text{Бк/кг})/(\text{Бк/м}^2)$.

Темпы переноса ряда радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам, в частности в системе почва — растение, зависят от количества сопровождающих этот процесс изотопных или неизотопных носителей радионуклидов. Это прежде всего относится к транспорту двух ведущих долгоживущих искусственных радионуклидов — ^{90}Sr и ^{137}Cs , основными неизотопными носителями которых являются биологически важные макроэлементы — соответственно Са и К. Для учета сопряженного переноса ^{90}Sr — Са и ^{137}Cs — К введен термин «коэффициент дискриминации микроколичеств радионуклида относительно макроколичеств носителя» (КД). Для ^{90}Sr — Са

$$\text{КД} = \frac{{}^{90}\text{Sr}/\text{Са в звене-акцепторе}}{{}^{90}\text{Sr}/\text{Са в звене-доноре}}$$

В системе почва — растение акцептором является растение, а донором — почва. Аналогичное соотношение введено и для пары ^{137}Cs — К. Переход ^{90}Sr из почвы в растения (выраженный по отношению к Са) зависит от количества обменного Са₂₊ в почве, и в этом случае КД предложено называть показателем Клечковского.

Задерживание выпадающих из воздуха на растительный покров радиоактивных частиц принято характеризовать отношением количества радионуклидов, сорбированного на надземных частях растений, к количеству радиоактивных веществ, выпавшему на данную площадь сельскохозяйственных угодий. Задерживание оседающих на растения радиоактивных частиц и последующее их удаление зависят от площади растительной поверхности, способной аккумулировать частицы; запасов фитомассы на единице площади, формы, размера и ориентации листьев и других надземных органов растений, а также от свойств их поверхности; скорости ветра, проходящего через посев во время и после выпадения частиц; размера аэрозольных частиц, количества выпавшего материала; относительной влажности во время и после выпадений.

Роль некорневого (аэрального) за-

грязнения растений по сравнению с накоплением радионуклидов из почвы особенно велика в первый период после выпадений: в это время содержание радиоактивных веществ в растениях может целиком определяться задержанием радионуклидов, оседающих из воздуха, надземной фитомассой. После прекращения радиоактивных выпадений начинается очищение растений от радионуклидов (смывание дождем, сдувание ветром, удаление аэрозолей под влиянием гравитационных сил и т. п.). Снижение концентрации радионуклидов в растениях после прекращения выпадений оценивается периодом полуочищения (т. е. временем, в течение которого с надземной фитомассы удаляется 50 % радионуклидов). Период полуочищения от большого числа радионуклидов у сельскохозяйственных растений колеблется от 7 до 17 сут (он зависит от физико-химических свойств радионуклидов, размеров аэрозольных частиц, биологических особенностей растений и т. д.).

Радионуклиды могут поступать в растения в результате подъема ветром или дождем с почвенного покрова как самих радиоактивных частиц, так и загрязненных частиц почвы. Это явление называют вторичным радиоактивным загрязнением растений. Такой путь поступления в растения особенно важен для тех радионуклидов, которые прочно фиксируются почвой и слабо накапливаются при корневом поглощении. Относительный вклад пылевого загрязнения в суммарное содержание радионуклидов в растениях (т. е. обусловленного поступлением радионуклидов из почвы по корневому пути и аэральным загрязнением) зависит от коэффициента накопления ($K^н$) радионуклида: чем ниже $K^н$, тем относительно большее значение приобретает внекорневое (пылевое) загрязнение растения. Для глобально рассеянных в результате ядерных испытаний ^{90}Sr и ^{137}Cs вклад пылевого загрязнения в Нечерноземной зоне России в 80-х годах составлял 0,3...1,4 % для зерна и 3...4 % — для вегетативных органов, этот вклад был несколько выше для растений на лугах (6... 14 %).

Накопление растениями радионуклидов из почвы зависит от комплекса

факторов, среди которых можно выделить 4 основные группы: физико-химические свойства радионуклидов, физико-химические свойства почвы, биологические особенности растений и агротехнику культур. Усвоение радионуклидов растениями хорошо согласуется с аккумуляцией их стабильных изотопных аналогов (табл. 15.2).

15.2. Коэффициенты накопления радионуклидов растениями (Санжарова и др., 1992)

Радионуклид	К _п	Радионуклид	К _п
³⁵ S	20...60	¹⁴⁰ Ba	(2...5) · 10 ⁻²
⁴⁵ Ca	(4...6) · 10 ⁻²	^{141,144} Ce	6 · 10 ⁻⁴ ...3 · 10 ⁻³
⁵⁴ Mn	0,02...15	¹⁴⁷ Pm	3 · 10 ⁻⁵ ...3 · 10 ⁻⁴
^{55,59} Fe	(1...8) · 10 ⁻²		0,13...0,3
⁶⁰ Co	4 · 10 ⁻³ ...5 · 10 ⁻²	²¹⁰ Pb	0,05...0,43
⁶⁵ Zn	3,3...15	²²⁶ Ra	1 · 10 ⁻³ ...4 · 10 ⁻²
^{89,90} Sr	0,02...12	²³² Th	1 · 10 ⁻³ ...7 · 10 ⁻¹
⁹¹ Y	3 · 10 ⁻⁵ ...7 · 10 ⁻⁴	²³⁸ U	1,6 · 10 ⁻⁴ ...1 · 10 ⁻¹
⁹⁵ Zr	3 · 10 ⁻³ ...8 · 10 ⁻²	²³⁷ Np	n · 10 ⁻² ...n · 10 ⁻¹
^{103,106} Ru	(2...3) · 10 ⁻³	^{239,240} Pu	n · 10 ⁻⁸ ...10 ¹
¹¹⁵ Cd	(4,3...8,5) · 10 ⁻²	²⁴¹ Am	n · 10 ⁻⁶ ...10 ⁻¹
¹³⁷ Cs	0,02...1,1	²⁴⁴ Cm	n · 10 ⁻⁴ ...n · 10 ⁻³

15.3. Коэффициенты перехода (К_п⁹⁰ Sr в некоторые сельскохозяйственные культуры из почв разных типов, (Бк/кг)/(кБк/м²) (данные Всероссийского НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии)

Культура	Продукция	Дерново-подзолистые			Серые лесные	Сероземы каштановые и луговые	Черноземы
		супесчаные	легко- и среднесуглинистые	тяжелосуглинистые			
Пшеница озимая	Зерно	1,0	0,6	0,3	0,4	0,2	0,1
	Солома	5,0	3,0	1,5	2,0	1,0	0,5
Рожь озимая	Зерно	1,0	0,6	0,3	0,4	0,2	0,1
	Солома	5,0	3,0	1,5	2,0	1,0	0,5
Пшеница яровая	Зерно	3,0	2,0	1,0	1,3	0,5	0,3
	Солома	15,0	10,0	5,0	6,5	2,5	1,5
Овес	Зерно	6,0	3,0	1,4	2,0	1,0	0,4
	Солома	30,0	15,0	7,0	10,0	5,0	2,0
Ячмень	Зерно	5,0	3,0	1,5	1,8	0,8	0,4
	Солома	25,0	15,0	7,5	9,0	4,0	2,0
Горох	Зерно	7,0	4,0	2,0	3,0	1,3	0,6
	Солома	35,0	20,0	10,0	15,0	6,5	3,0
Гречиха	Зерно	5,0	3,0	1,5	1,7	0,5	0,2
	Кукуруза	12,0	6,0	3,0	4,0	2,4	1,2
Викоовсяная смесь	То же	6,0	3,5	8	2,5	1,0	0,3
Картофель	Клубни	2,6	1,7	0,8	1,0	0,3	0,1
	Корнеплоды	6,0	3,0	1,6	2,0	0,7	0,3
Капуста	Кочаны	1,2	0,6	0,3	0,4	0,2	0,1
	Лен	5,0	3,0	1,5	1,8	—	—

По накоплению растениями химические элементы разделяют на 5 групп, характеризующихся сильным накоплением (К_п>10), слабым накоплением (1...10), отсутствием аккумуляции (0,1...1), слабой дискриминацией при переходе из почвы (0,01...0,1) и сильной дискриминацией (< 0,01). Из техногенных радионуклидов растения интенсивно усваивают из почвы ⁹⁰Sr, значительно слабее ¹³⁷Cs. Аккумуляция из почвы растениями таких среднеживущих радионуклидов, как ⁹⁵Zr, ^{103,106}Ru, ^{141,144}Ce, очень незначительна. Крайне плохо растения накапливают из почвы ²³⁹Pu, ²⁴¹Am, радионуклиды U.

Накопление растениями радионуклидов из почвы зависит от ее физико-химических свойств: как правило, чем выше в ней содержание гумуса, обменных катионов, илстой и глинистой фракций, а следовательно, и плодородия, тем слабее поглощение растениями большинства радионуклидов. Максимальные значения К_п радионуклидов в растениях характерны для торфяных и легких по гранулометрическому составу (песчаные и супесчаные) дерново-подзолистых почв (табл. 15.3 и 15.4).

15.4. Коэффициенты перехода ($K^{137}\text{Cs}$ в некоторые сельскохозяйственные культуры из почв разных типов, (Бк/кг)/(кБк/м²) (данные Всероссийского НИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии)

Культура	Продукция	Дерново-подзолистые			Серые лесные	Чернозем выщелоченный	Торфяные, торфяно-глебовые
		песчаные и супесчаные	легко- и среднесуглинистые	тяжелосуглинистые			
Рожь озимая	Зерно	0,3	0,05	0,03	0,03	0,03	0,40
	Солома	0,6	0,12	0,06	0,06	—	—
Пшеница озимая	Зерно	0,4	0,06	0,05	0,06	0,04	0,10
	Солома	0,6	0,12	0,06	0,12	—	—
Овес	Зерно	0,2	0,15	0,10	0,05	0,05	0.50
	Солома	1,6	0,26	0,12	0,12	—	—
Ячмень	Зерно	0,2	0,10	0,03	0,05	0,05	0,10
	Солома	1,6	0,26	0,12	0,12	—	—
Овсяно-гороховая смесь	Вегетативная масса	1,0	0,6	0,05	0,05	0,05	1,20
Кукуруза	То же	0,2	0,2	0,2	0,05	0,07	—
Люпин	»	9,2	5,0	—	—	—	—
Картофель	Клубни	0,3	0,15	0,08	0,08	0,05	0,7
Свекла столовая	Корнеплоды	0,5	0,4	0,2	0,15	0,10	0,25
Многолетние травы (злаково-бобовая смесь)	Сено	6,0	3,0	1,0	1,0	1,0	4,50
Клевер	»	3,0	2,0	1,5	1,0	1,0	0,70
Томаты	Плоды	0,06	0,06	0,05	0,05	—	—
Гречиха	Зерно	0,75	0,15	0,10	0,10	—	—
Естественные травы	Сено	20,0	15,0	—	9,0	—	—

Поступление радионуклидов в лугопастбищные растения во многом зависит от повышенной доступности радиоактивных веществ, содержащихся в луговой дернине; на лугах растения накапливают в 5... 10 и более раз больше радионуклидов (в том числе ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs), чем на пахотных почвах. Особенности минерального питания, разная продолжительность вегетационного периода, характер распределения корневых систем в почве, различия в продуктивности и другие биологические особенности растений влияют на накопление радионуклидов разными видами и сортами сельскохозяйственных культур. Аккумуляция растениями ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs при корневом пути перехода может различаться в зависимости от вида (в 10... 30 раз) и от сорта (в 5...7 раз).

Перенос радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам с участием сельскохозяйственных животных. При выпасе на пастбищах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, а также при поедании радионуклидсодержащих кормов в стойловый период радионуклиды поступают в организм сельскохозяй-

ственных животных и далее переходят в продукцию животноводства (молоко, мясо и др.). Ингаляционный и перкутантный пути перехода радиоактивных веществ в организм животных играют, как правило, незначительную роль.

Транспорт радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам с участием животных описывают с помощью ряда показателей. Кратность накопления (F) соотносит содержание радионуклида в определенном органе или ткани животного и количество радионуклида, поступающее в организм в условиях длительного введения радиоактивных веществ. При продолжительном кормлении животных загрязненными кормами

$$F=CM/Q,$$

где C — концентрация радионуклида в органе или ткани, Бк/г; M — масса органа или ткани, г, Q — количество радионуклида, ежедневно поступающее с кормом в организм животного, Бк.

Величина F зависит от степени равновесия в обмене радионуклида у животных, достигая постоянного значения в условиях установившегося равновесия

в этом обмене, т. е. в условиях, когда количество радионуклида, поступившего в организм, равно количеству выведенного из него радионуклида.

Коэффициент всасывания радионуклида $f_{вс}$ в организме животных используют для оценки биологической подвижности радионуклида и выражают в процентах:

$$f_{вс} = \frac{\text{Количество радионуклидов, перешедшее в кровь, Бк}}{\text{Количество радионуклидов, поступившее с рационом, Бк}}$$

Выведение радионуклидов из организма (органа или ткани) животных описывают с помощью периода полувыведения $T_{биол}$, т. е. срока, в течение которого из организма (органа или ткани) удаляется половина содержащихся в нем радионуклидов. При этом предполагают экспоненциальный характер удаления радионуклидов из организма животного. Если в дополнение ко всем процессам, обеспечивающим выведение радионуклидов из организма, добавляют учет распада радионуклида ($T_{физ}$ — период полураспада), то говорят об эффективном периоде полувыведения, который определяют по формуле

$$T_{эфф} = \frac{T_{физ} T_{биол}}{T_{физ} + T_{биол}}$$

Выведение радионуклидов из органов и тканей сельскохозяйственных животных обычно оценивают с помощью одной или нескольких экспонент. Как и для звена почва — растение, для сельскохозяйственных цепочек с участием животных применяют $K^п$, соотносящие накопление радионуклидов в продукции животноводства (молоко, мясо и др.) и плотность радиоактивного загрязнения территории.

Попавшие в организм животных радионуклиды вовлекаются в метаболические процессы, включающие всасывание, передвижение по отдельным органам и тканям, депонирование и выведение. От интенсивности этих процессов зависит в конечном счете накопление радионуклидов в продукции животноводства.

Метаболизм радиоактивных веществ в организме сельскохозяйственных животных для большого числа естествен-

ных и искусственных радионуклидов может рассматриваться как барьер, ограничивающий поступление радионуклидов в продукцию животноводства (молоко, мясо, яйцо, субпродукты). Такое ограничение является в первую очередь следствием низкого всасывания в желудочно-кишечном тракте животных таких радионуклидов, как ^{60}Co , ^{90}Y , $^{103,106}\text{Ru}$; $^{141,144}\text{Ce}$; ^{238}U рансруановые

радионуклиды. Однако в отличие от перечисленных большая группа радионуклидов, например ^3H , ^{45}Ca , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs и др., хорошо всасывается в желудочно-кишечном тракте. Этот процесс зависит не только от физико-химических свойств радионуклидов, но и от их формы, а также от возраста животных (у молодых всасывание выше, чем у взрослых). Тип распределения радионуклидов в организме, как и выведение их из него, зависит от множества факторов (табл. 15.5). Наибольшее практическое значение имеют коэффициенты миграции радионуклидов в трофических цепях, ведущих к переходу радионуклидов в молоко и мясо, — важнейшие источники радионуклидов для человека (табл. 15.6 и 15.7).

15.5. Тип распределения радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных

Тип распределения	Радионуклид
Равномерный	Радионуклиды щелочных элементов (^3H , ^7Li , ^{22}Na , ^{40}K , ^{86}Rb , $^{134,137}\text{Cs}$)
Скелетный	Радионуклиды щелочноземельных элементов (^7Be , ^{45}Ca , $^{89,90}\text{Sr}$, ^{140}Ba , ^{226}Ra), ^{48}V , ^{74}Se , ^{76}As , ^{125}Sb , ^{238}U
Печеночный	^{48}V , ^{74}Se , ^{76}As , ^{125}Sb , ^{238}U
Тиреотропный	^{131}I , ^{211}At

15.6. Коэффициенты перехода радионуклидов из рациона крупного рогатого скота в мышцы (мясо) в условиях равновесного накопления радионуклидов, % суточного поступления радионуклида в 1 кг мышц (Романов, 1993)

Радионуклид	Мышцы	Радионуклид	Мышцы
^{45}Ca	$1 \cdot 10^{-1}$	$^{129,131}\text{I}$	$4 \cdot 10^{-1}$
$^{89,90}\text{Sr}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$^{134,137}\text{Cs}$	8
$^{90,91}\text{Y}$	$1 \cdot 10^{-4}$	^{140}Ba	$5 \cdot 10^{-3}$
^{95}Zr	$1 \cdot 10^{-4}$	$^{141,144}\text{Ce}$	$1 \cdot 10^{-4}$
^{95}Nb	$1 \cdot 10^{-4}$	^{147}Pm	$1 \cdot 10^{-4}$
$^{103,106}\text{Ru}$	$3 \cdot 10^{-1}$	Изотопы U	$1 \cdot 10^{-4}$
$^{124,125}\text{Sb}$	$1 \cdot 10^{-1}$	Изотопы Pu	$1 \cdot 10^{-4}$

15.7. Коэффициенты перехода радионуклидов в условиях их длительного поступления из рациона в молоко коров (равновесное накопление и выведение), % суточного поступления в 1 л уdoa (Романов, 1993)

Радионуклид	Коэффициент перехода	Радионуклид	Коэффициент перехода
^3H	1	^{109}Ag	5
^7Be	$5 \cdot 10^{-5}$	^{125}Sb	$2 \cdot 10^{-3}$
^{14}C	2	$^{129,131}\text{I}$	1
^{22}Na	1	$^{134,137}\text{Cs}$	1
^{32}P	3	^{140}Ba	$5 \cdot 10^{-2}$
^{35}S	2	^{140}La	$3 \cdot 10^{-4}$
^{40}K	1	$^{141,144}\text{Ce}$	$1 \cdot 10^{-4}$
^{45}Ca	1	^{143}Pr	$5 \cdot 10^{-4}$
^{51}Cr	$2 \cdot 10^{-1}$	^{147}Pm	$1 \cdot 10^{-4}$
^{59}Ni	$7 \cdot 10^{-1}$	^{147}Nd	$5 \cdot 10^{-4}$
^{59}Fe	$3 \cdot 10^{-3}$	^{185}W	$5 \cdot 10^{-3}$
^{60}Co	$3 \cdot 10^{-2}$	^{203}Hg	3
^{64}Cu	1	^{210}Po	$3 \cdot 10^{-2}$
^{65}Zn	$6 \cdot 10^{-1}$	^{210}Pb	$6 \cdot 10^{-2}$
$^{89,90}\text{Sr}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	^{226}Ra	1
$^{90,91}\text{Y}$	$1 \cdot 10^{-4}$	^{237}Np	$5 \cdot 10^{-4}$
^{95}Zr	$1 \cdot 10^{-4}$	^{238}U	$5 \cdot 10^{-2}$
^{95}Nb	$1 \cdot 10^{-4}$	$^{239,240}\text{Pu}$	$1 \cdot 10^{-5}$
^{99}Mo	$9 \cdot 10^{-2}$	^{241}Am	$4 \cdot 10^{-5}$
$^{103,106}\text{Ru}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	^{244}Cm	$2 \cdot 10^{-3}$
^{106}Rh	1		

Для наиболее важных в радиологическом отношении нуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs переход в 1 л молока равен соответственно 0,1...0,2 и 0,5...1,5 % от суточного поступления с кормом, а в 1 кг мяса — соответственно 0,04 и 8 %. Если в составе смеси, выпадающей на дугопастбищные угодья, присутствует ^{131}I , он становится одним из главных источников радиационной опасности для человека вследствие быстрого перехода в молоко (в 1 л молока 1 % от суточного поступления) и последующего накопления в щитовидной железе человека. При выпасе животных на пастбищах, подвергшихся радиоактивному загрязнению (особенно на низкопродуктивных угодьях), существенным источником поступления радионуклидов в продукты животноводства может стать загрязнение животными частиц почвы.

Миграция радионуклидов в агроценозах и моделирование этих процессов. Перемещение радионуклидов по сельско-

хозяйственным цепочкам в сфере агропромышленного производства представляет многозвенный процесс, причем описывающие его количественные характеристики весьма динамичны и переменны во времени и в пространстве, что зависит от влияния большого числа факторов различной природы (биогеохимические, производственно-хозяйственные и др.). Необходимость описания совокупности процессов миграции радионуклидов в сельскохозяйственной сфере обусловила широкое применение системного подхода в проведении радиоэкологических исследований переноса радионуклидов с помощью моделей транспорта радионуклидов в агроценозах. Одна из конечных задач применения таких моделей — прогнозирование содержания радионуклидов в конкретном блоке агроценоза (в практическом отношении наибольшее значение имеют блоки, характеризующие конечную сельскохозяйственную продукцию — молоко, мясо, продукты растениеводства и т. п.). Пример такой модели, которая используется Научным комитетом ООН по действию атомной радиации для описания переноса радионуклидов по наиболее важным пищевым цепям от радиоактивных выпадений до организма человека, показан на рисунке 15.3.

С учетом зависимости отдельных блоков миграции радионуклидов в агроценозе и специфических особенностей их передвижения по отдельным сельскохозяйственным цепочкам можно выделить 6 групп такого рода моделей: 1) модели миграции радионуклидов в почвах; 2) модели аэрального радиоактивного загрязнения посевов сельскохозяйственных растений; 3) модели миграции радионуклидов в системе почва — растение; 4) модели миграции радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных; 5) модели миграции радионуклидов по пищевым цепям; 6) модели миграции радионуклидов в агроценозе (в локальном, региональном и глобальном масштабах).

Особый интерес представляют такие радиологические ситуации, когда под влиянием ряда факторов миграция радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам осуществляется с повышен-

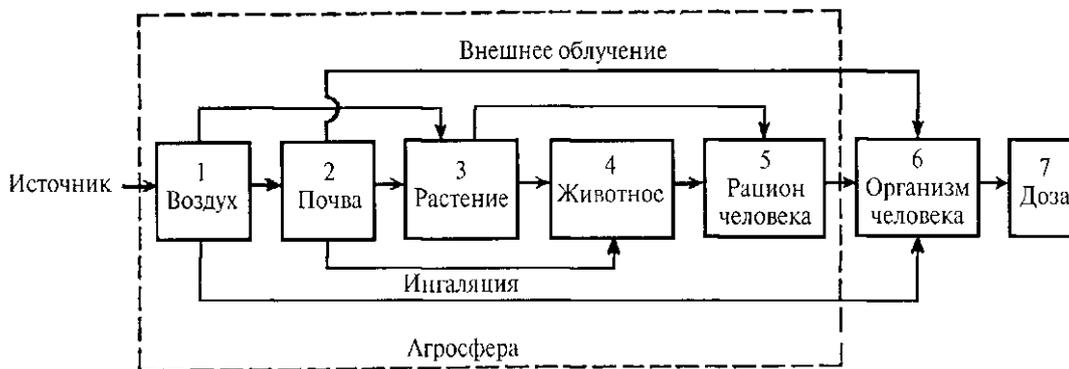


Рис. 15.3. Блочная модель транспорта радионуклидов в окружающей среде

ной интенсивностью. Причинами такого ускоренного перемещения радионуклидов могут быть сравнительно высокая их подвижность в отдельных звеньях круговорота; своеобразные биогеохимические условия, способствующие ускорению переноса радионуклидов; отдельные технологические процессы в АПК, ведущие к увеличению накопления радионуклидов в конечных пищевых продуктах, и т. п. Во всех этих случаях принято говорить о существовании «горячих» радиоэкологических районов, «горячих» сельскохозяйственных цепочек и т. п. Их наличие имеет важное значение при радиационном мониторинге агросферы, например при выборе площадок для АЭС и других предприятий полного ядерного топливного цикла.

Своеобразные биогеохимические условия почвенно-растительного покрова того или иного региона могут в некоторых случаях обеспечить там более интенсивную миграцию радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам, чем на смежных территориях. Такие регионы получили название биогеохимических аномалий (хотя, строго говоря, чего-либо необычного в процессах миграции радионуклидов в этих районах нет, так как поведение радионуклидов подчинено общим биогеохимическим закономерностям, выделяется лишь очень высокое «аномальное» накопление радионуклидов в отдельных звеньях сельскохозяйственных цепочек по сравнению с аналогичными параметрами миграции в смежных ландшафтах).

Примером такой аномалии являются районы украинского и белорусского полесий (а также аналогичные территории в ряде регионов России — полесья Брянской, Рязанской, Владимирской и других областей). Распространение в этих регионах малоплодородных дерново-подзолистых и торфяных почв легкого (песчаного и супесчаного) гранулометрического состава, подвижность ^{90}Sr и ^{137}Cs в которых заметно выше, чем в более тяжелых почвах, обогащенных гумусом, кальцием и другими обменными основаниями и характеризующихся более высокими значениями рН, приводит к тому, что интенсивность миграции ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе почва — растение в этих районах значительно выше, чем в примыкающих к ним.

Как радиологически «горячие» ландшафты можно рассматривать лугопастбищные угодья. Своеобразие накопления радионуклидов луговой растительностью определяется наличием на лугах дернинного слоя, состоящего из полуразложившихся остатков растений и собственно почвы. В этом специфическом депо радионуклиды, поступившие на луговые угодья после радиоактивных выпадений, задерживаются на длительное время, оставаясь повышено доступными для растений (так, доступность для растений ^{90}Sr и ^{137}Cs на лугах в 2...10 раз выше, чем на пахотных землях). Поступление ^{137}Cs в растения зависит от вида луговых угодий и типа почв на них. На рисунке 15.4 приведена радиоэкологическая классификация лугов в зоне аварии на Чернобыльской

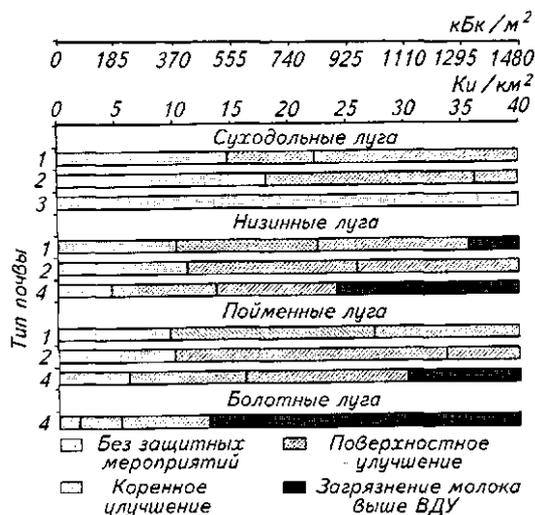


Рис. 15.4. Радиоэкологическая классификация лугов (при загрязнении ^{137}Cs). Для разных видов лугов и типов почв показаны плотности загрязнения ^{137}Cs , при которых с учетом мелиоративных мероприятий различной интенсивности возможно производство молока, отвечающего радиологическим стандартам (Санжарова, 1997):

1 — песчаные и супесчаные; 2 — легко- и среднесуглинистые; 3 — тяжелосуглинистые и глинистые; 4 — торфяные (органические)

^{137}Cs по критерию оценки перехода ^{137}Cs в молоко при выпасе коров на этих лугах или использовании получаемого на них сена. Видно, что наиболее неблагоприятная радиологическая ситуация сложилась на болотных лугах, где даже коренное улучшение (мелиорация) не обеспечивает получение молока, отвечающего радиологическим стандартам [временно допустимый уровень (ВДУ) ^{137}Cs в молоке равен 370 Бк/л]. Рыхле-

ние дернинного слоя и перевод естественных пастбищ в искусственные высокопродуктивные с сеяными травами сильно снижают накопление радионуклидов луговыми растениями и в результате ограничивают переход радиоактивных веществ в молоко и другие продукты животноводства.

Миграция радионуклидов в системе оросительная вода — почва — растение усиливается в условиях орошаемого земледелия. Особенно интенсивно ускорение перехода радионуклидов в растение происходит при дождевании, хотя и при поливе по бороздам, напуском, по чекам и т. п. также имеет место повышение поступления радионуклидов в растения относительно богарных условий (табл. 15.8). При дождевании радионуклиды поступают непосредственно в надземные части растений, минуя почвенное звено круговорота, т. е. исключается сорбция радионуклидов твердой фазой почвы. Особенно значим этот путь миграции для радионуклидов, которые сравнительно инертны при почвенном пути поступления в растения. Так, если для относительно более подвижного в системе почва — растение ^{90}Sr накопление в зерне озимой пшеницы при поливе дождеванием в 17...83 раза выше, чем при богарных условиях, то для менее мобильного ^{137}Cs это увеличение может достигать 700... 1400 раз. Более сильное накопление растениями в условиях дождевания, чем при богарном земледелии, показано для большого числа искусственных радионуклидов (продуктов деления, нуклидов с наведенной активностью), а также для тяжелых естественных радионуклидов.

15.8. Накопление ^{90}Sr и ^{232}Cs озимой пшеницей в богарных и орошаемых условиях, % (Алексахин и др., 1985)

Водный режим	^{90}Sr		^{232}Cs	
	Зерно	Солома	Зерно	Солома
Богарные условия (по отношению к содержанию радионуклидов в почве)	0,003	0,03	0,0005...0,001	0,005...0,01
Орошение дождеванием (по отношению к количеству радионуклидов, вносимому с поливной водой)	0,05...0,25	0,2...0,7	0,7	2,5

15.4. ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА РАСТЕНИЯ, ЖИВОТНЫХ И АГРОЦЕНОЗЫ

Действие ионизирующих излучений на растения. В большинстве радиологических ситуаций растения в среде их обитания подвергаются одновременно внешнему (от находящихся вне растений источников излучений) и внутреннему (от инкорпорированных в тканях радионуклидов) облучению. В облучаемом фитоценозе внешними по отношению к рассматриваемому растению источниками излучения могут стать инкорпорированные (накопленные) радионуклиды, содержащиеся в соседних растениях. Для отдельных органов растений внешними являются также источники, находящиеся в других частях этого растения. Лишь в специальных условиях (обычно искусственно моделируемых) растения подвергаются только внешнему (например, на гамма-полях) или внутреннему (например, при накоплении радионуклидов отдельными растениями в лабораторных опытах) облучению.

Первичные реакции в сложном растительном организме начинаются с действия ионизирующей радиации на биологически активные молекулы, входящие в состав практически всех компонентов живой клетки. Ранние радиобиологические процессы обуславливаются в основном двумя видами действия ионизирующих излучений: прямым и косвенным. Биофизический анализ элементарных радиобиологических процессов, базирующийся на экспериментальных данных по зависимости эффекта от физических характеристик ионизирующего излучения (доза, мощность дозы, линейные потери энергии в биологических тканях, фракционирование облучения) и модифицирующих факторов (температура, концентрация кислорода, содержание воды и др.), позволил уже к середине 30-х годов сформулировать основные принципы попадания, мишени и усилителя. Согласно принципам попадания и мишени основу биологических реакций при воздействии ионизирующих излучений составляют микролокальные события, затрагивающие

структуру ДНК и РНК, тогда как принцип усилителя заключается в том, что изменения в структуре ДНК и РНК влекут за собой изменения обмена веществ в облученных клетках.

Концепция зависимости радиочувствительности растений от объема клеточных ядер в интерфазе меристематических клеток является наиболее распространенной. В самом общем виде ее можно сформулировать следующим образом. Для различных видов растений отмечается обратная связь среднего объема ядра с дозой облучения, необходимой для резкого замедления роста: растения с крупными хромосомами более чувствительны к облучению, чем растения с мелкими хромосомами. Эта зависимость радиорезистентности растений от размеров клеточного ядра (размеров хромосом) не является универсальной для всего растительного мира. Она более строго выдерживается в пределах так называемых радиотаксонов — видов растений, характеризующихся филогенетической близостью.

Биологические процессы, инициированные облучением растений, связаны со множеством обменных реакций в делящихся и специализированных клетках. Отличительная черта высших растений (по сравнению, например, с позвоночными животными) состоит в том, что органогенез у них не ограничивается эмбриональным периодом, а протекает в течение всей жизни. Это возможно благодаря наличию у растений эмбриональных тканей — меристем, сохраняющих способность к клеточному делению на протяжении всего онтогенеза. Радиочувствительность меристем в десятки и сотни раз выше, чем дифференцированных и специализированных тканей.

На клеточном уровне радиационные изменения у растений выявляются в виде цитогенетических повреждений, оцениваемых по снижению митотической активности, увеличению числа хромосомных aberrаций и изменению длительности митотического цикла клеток апикальной меристемы. Изменения под влиянием облучения, происходящие на клеточном уровне, в дальнейшем проявляются на уровне целостного организма и фитоценоза. В облучаемом фи-

тоценозе отмечаются выпадение наиболее радиочувствительных видов растений, изменение числа растений и запасов фитомассы на единице площади, нарушенные течения нормальных сукцессионных процессов и т. п.

Ответные реакции растений на воздействие ионизирующих излучений зависят от дозы облучения. Поглощенные дозы облучения в радиобиологии принято измерять в греях (1 Гр = 1 Дж/кг), а экспозиционные дозы — в рентгенах (1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг). Биологические эффекты облучения зависят от интенсивности воздействия ионизирующих излучений — мощности дозы (измеренной, например, в Гр/мин). С учетом биологической эффективности разных видов ионизирующих излучений применяют единицу поглощенной энергии зиверт (1 Зв равен произведению единицы поглощенной дозы, оцененной в греях, на величину ОБЭ — относительной биологической эффективности). При воздействии ионизирующих излучений в интервале сравнительно невысоких доз (5...10 Гр для семян и 1...5 Гр для вегетирующих растений) темпы роста и развития растений ускоряются. Это явление называется радиостимуляцией (табл. 15.9).

15.9. Стимулирующие дозы облучения семян некоторых видов сельскохозяйственных культур (Филипас и др., 1992)

Вид растения	Стимулирующая доза, Гр	Вид растения	Стимулирующая доза, Гр
Горох	3...10	Огурцы	3...40
Кукуруза	5...10	Люпин	40...160
Рожь	10	Морковь	20...40
Пшеница	25	Лен	20
Дыня	40	Капуста	2,5...80
Томаты	2,5...10	Клевер	5...40
Хлопчатник	5...30	Редис	10

Биологическое действие ионизирующей

радиации на семена и вегетирующие растения принято оценивать по величинам летальных и полублетальных доз — ЛД¹⁰⁰ и ЛД⁵⁰, рассчитываемым по выживаемости растений к концу вегетационного периода. У большинства сельскохозяйственных культур дозы облучения, вызывающие гибель 50—70 % растений, приводят к полной потере продуктивности, поэтому для характеристики устойчивости растений к потере продуктивности при облучении применяют параметр УД⁵⁰, который соответствует дозе, вызывающей снижение урожайности на 50 % (табл. 15.10).

ЛД⁵⁰ и УД⁵⁰ для одного и того же вида растений могут различаться в 10 раз и более. При воздействии ионизирующих излучений на агрофитоценоз облучение является лишь одним из факторов, влияющих на рост и развитие растений. В этих условиях могут отмечаться аддитивный, синергический или компенсаторный эффекты при суммарном влиянии нескольких экологических факторов (например, при засухе угнетающее действие ионизирующих излучений на растения проявляется сильнее).

Действие ионизирующих излучений на животных. Динамика формирования радиационной обстановки в агропромышленной сфере, определяющая дозовые нагрузки на сельскохозяйственных животных, зависит от характера распространения и распределения радиоактивных веществ во внешней среде, ядерно-физических параметров радионуклидов, вида образующихся источников внешнего и внутреннего облучения. Источниками внешнего облучения животных являются радионуклиды, распределенные в различных компонентах окружающей среды, а источниками внутреннего облучения — инкорпорированные радионуклиды, поступившие в орга-

15.10. Средние УД,⁰ для зерновых культур при остром γ -облучении вегетирующих растений, Гр (Филипас и др., 1992)

Фаза развития растения в момент облучения	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Озимая рожь	Яровая рожь	Яровой и озимый ячмень	Овес	Рис
Всходы	50	60	35	35	30	45	—
Кущение	20	35	30	20	20	30	—
Выход в трубку	8	13	4	4	8	16	75
Колошение	25	24	20	15	12	10	160
Цветение	35	40	35	35	30	35	—

15.11. Полулетальные дозы у-излучения для сельскохозяйственных животных (Кругликов и др., 1992)

Вид животного	Мощность дозы, Р/мин	ЛД _{50/30}		Средняя продолжительность жизни, сут
		доза в воздухе по средней линии животного, Р	тканевая поглощенная доза, Гр	
Крупный рогатый скот	0,9...6,6	200...543	1,25...1,60	20
Овцы	250...500	276...352	1,47	—
	0,5...4,4	318...363	1,94	23
	0,033...0,06	495...637	3,0...3,9	20
Козы	1,3...7,5	395...550	2,4...3,5	27
Свиньи	10...50	313...450	1,4...2,7	35
Ослы	0,4...0,8	620...770	2,8...2,9	46
Лошади	1,5	400	1,6	—
Птица взрослая	1,5	1100	—	—

низм животных с кормом и водой (пероральный путь), с воздухом (ингаляционный источник) и через кожные покровы (перкутанный путь).

Действие внешнего облучения на животных зависит от вида излучения. Так, α- и β-излучения не представляют большой опасности при внешнем воздействии, так как оказывают влияние главным образом на поверхностные слои кожи, тогда как γ- и нейтронное излучения, обладая большой проникающей способностью, обуславливают общее лучевое поражение животных. Одним из основных критериев оценки биологического действия ионизирующих излучений считается гибель животных, в связи с чем применяют понятия летальной и полулетальной доз однократного облучения. Полулетальная доза ЛД_{50/30} — это минимальная доза, приводящая к гибели 50 % животных в течение первых 30 дней после облучения, а ЛД_{100/30} — летальная доза, вызывающая 100%-ную гибель всех животных за этот же срок (табл. 15.11).

По радиочувствительности сельскохозяйственные животные располагаются в следующий убывающий ряд: крупный рогатый скот, овцы, козы, свиньи, ослы, лошади, куры. Разовое острое внешнее облучение продуктивных животных в дозе до 3...3,5 Гр не вызывает их гибели, а при дозе 7...8 Гр все животные погибают. Поражающее действие ионизирующих излучений на животных (при одной и той же поглощенной дозе) проявляется сильнее при более высокой мощности дозы. В зависимости от характера воздействия ионизирующих излучений (острого или длительного, про-

лонгированного) при относительно высоких поглощенных дозах может наступить лучевая болезнь животных (соответственно она может быть острой или хронической). У сельскохозяйственных животных по степени тяжести различают 4 формы острой лучевой болезни — легкую (дозы 1,5...2Гр), среднюю (2,5...4Гр), тяжелую (4...6 Гр) и очень тяжелую (более 6 Гр).

С радиоэкологической точки зрения наибольший интерес представляет радиационное поражение сельскохозяйственных животных при нахождении их в среде, содержащей радионуклиды (например, при радиоактивном загрязнении территории). В этих условиях сельскохозяйственные животные попадают в поле облучения, состоящее из большого числа источников ионизирующих излучений (внешнее облучение от радионуклидов, находящихся на пастбищах, фермских постройках и т. п.; внутреннее облучение от инкорпорированных в теле животных радионуклидов, поступивших при поедании кормов, вдыхании радионуклидов с пылью и т. п.). Различные радионуклиды обладают разной тропностью, т. е. могут накапливаться в отдельных органах и тканях, что приводит к повышенному облучению этих частей тела животных. Так, ¹³¹I аккумулируется в щитовидной железе, что обуславливает ее радиационное поражение, если в составе загрязняющей смеси радиоактивных веществ присутствует этот радионуклид. Лучевое поражение животных в зоне аварии на Чернобыльской АЭС было, в частности, обусловлено интенсивным накоплением ¹³¹I в щитовидной железе.

15.12. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС (Алексахин, 1993)

Критерий	Доза облучения, Гр/год (в первый период аварии)	Плотность выпадений ¹³⁷ Cs, МБк/м ²
Радиационное поражение экосистем:		
хвойные леса	10	> 11
лиственные леса	30	Не обнаружено
агроэкосистемы	70	Не обнаружено
Радиационное поражение животных (облучение щитовидной железы от ¹³⁷ Cs)	50	7,4
Ранние генетические эффекты	0,1	1,9
Превышение временно допустимых уровней ¹³⁷ Cs (ВДУ) в сельскохозяйственной продукции:		
молоко, 370 Бк/л		0,6
мясо, 740 Бк/кг		3
зерно, 370 Бк/кг		> 3,7

Важно подчеркнуть, что радиационное поражение сельскохозяйственных животных наступает при содержании радионуклидов в окружающей среде, значительно превышающем те, при которых пищевые продукты признаются непригодными из-за превышения в них предельно допустимых концентраций радионуклидов. Это отражает основную парадигму радиоэкологии: при радиоактивном загрязнении окружающей среды ареал, где наблюдается радиационное поражение растений и животных, существенно меньше площади, где становится невозможным производство пригодной для использования сельскохозяйственной продукции (т. е. продукции, отвечающей радиологическим стандартам). Как видно из данных, представленных в таблице 15.12, в зоне аварии на Чернобыльской АЭС радиационное поражение на уровне экосистемы и организмов наступило при значительно больших плотностях радиоактивного загрязнения, чем те, при которых содержание ¹³⁷Cs в основных видах сельскохозяйственной продукции (молоко, мясо, зерно) превысило допустимые уровни.

15.5. РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СФЕРЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Радиационный мониторинг сферы сельскохозяйственного производства — это система непрерывных наблюдений (измерений), оценки и прогноза радио-

активного загрязнения компонентов природы и элементов биоты, являющихся объектами или продуктами сельскохозяйственной деятельности человека, и реакций биотической составляющей на действие ионизирующих излучений.

При нормальной радиационной обстановке решающее значение имеют гигиенические аспекты радиационного мониторинга АПК — наблюдения за уровнем радиоактивного загрязнения основных звеньев пищевых цепей, определяющих накопление радионуклидов в продуктах растениеводства и животноводства, используемых в рационе человека. В то же время радиационно-гигиенический подход не во всех случаях является достаточным для того, чтобы обеспечить одновременно радиационную безопасность человека и других живых организмов (растений, животных). Реальные дозовые нагрузки на человека, с одной стороны, и другие живые объекты — с другой, при поступлении радионуклидов в природную среду могут существенно отличаться, причем поглощенные дозы у растений и животных часто больше, чем у человека. Это объясняется наличием принципиальных отличий в процессе формирования у них поглощенной дозы, а для человека и животных также и различными поведенческими реакциями. Так, (3-излучающие нуклиды не играют сколько-нибудь заметной роли во внешнем облучении человека, но определяют основной вклад в дозу, формирующуюся у растений. Для обеспечения радиационной

безопасности человека разработан комплекс активных методов защиты (переселение, регулирование нахождения в загрязненном районе, постоянное или временное запрещение потребления загрязненных пищевых продуктов, использование защитных сооружений, дезактивация одежды и тела и др.). По техническим или экономическим причинам выбор и применение активных методов защиты сельскохозяйственных растений и животных крайне ограничены.

Ведение агропромышленного производства на угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, предполагает наличие картографической основы, где представлены, как правило, мощности доз γ -облучения и содержание радионуклидов в почвенно-растительном покрове (плотность загрязнения). Составление таких карт — одна из важнейших задач радиационного мониторинга окружающей среды.

Наиболее оперативный и эффективный метод определения масштабов и характеристики радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий — γ -съемка, проводимая наземным и воздушным путями. На основании измеренных при γ -съемке мощностей доз γ -излучения и с учетом соотношения различных β - и γ -излучателей в смеси радионуклидов, выпавших на местности, подсчитывают содержание разных радионуклидов в объектах агропромышленной сферы. Следующий этап радиационного мониторинга — отбор проб сельскохозяйственных объектов (растения, продукция животноводства и т. п.) и определение содержания в них радионуклидов. При этом используют как спектрометрический метод оценки концентрации радионуклидов, так и более трудоемкие радиохимические методы. Особое внимание при этом уделяют определению содержания «критических» радионуклидов, т. е. тех, которые обуславливают дозу внутреннего облучения, связанную с потреблением радионуклидсодержащей агропромышленной продукции. При радиационном мониторинге сельскохозяйственных угодий особое внимание обращают на обследование личных подсобных хозяйств, так как во многих случаях содер-

жание радионуклидов в сельскохозяйственных продуктах здесь выше, чем в хозяйствах с коллективной формой собственности. Разновидностью радиологических карт могут быть карты, на которых указывают уровни загрязнения основных дозообразующих пищевых продуктов (например, молока) или коэффициенты перехода ($K^п$) наиболее радиологически значимых нуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs) из почвы в сельскохозяйственную продукцию.

15.6. ПРИНЦИПЫ ВЕДЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И КОМПЛЕКС ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ

Основные проблемы, требующие решения при организации агропромышленного производства на территориях с повышенным содержанием радионуклидов, — получение сельскохозяйственной продукции, отвечающей радиологическим стандартам, и минимизация доз облучения специалистов, занятых в АПК. Радиологические стандарты выражают в виде допустимых концентраций радионуклидов в пищевых продуктах (их измеряют в Бк/кг). При установлении этих концентраций исходят из радиобиологических (дозиметрических) показателей — пределов доз облучения человека, которые формируются при потреблении пищевых продуктов, содержащих радионуклиды в этих концентрациях. Таким образом, реализуется дозовый принцип ограничения облучения человека от радионуклидов, содержащихся в агрофере (эффект облучения зависит от его дозы). В качестве производных критериев допустимого содержания радионуклидов на сельскохозяйственных угодьях используют плотность их загрязнения определенным радионуклидом (ее выражают в Бк/м²). При этом предполагают, что при допустимой плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий концентрация радионуклидов в производимой сельскохозяйственной продукции не превышает допустимых концентраций в ней радионуклидов.

15.13. Характеристика выбросов радионуклидов в окружающую среду при тяжелых радиационных авариях

Место аварии	Суммарный выброс, Бк	^{90}Sr , Бк	^{131}I , Бк	^{137}Cs , Бк	Территория, выведенная из хозяйственного использования, км	Территория, на которой отмечено действие выброса, км
Южный Урал, 1957 г.	$7,4 \cdot 10^{16}$	$2,0 \cdot 10^{15}$	—	$2,7 \cdot 10^{13}$	1000	15000*
Уиндскейл, 1957 г.	—	$7,4 \cdot 10^{14}$	$7,4 \cdot 10^{14}$	$2,2 \cdot 10^{14}$	—	500**
Чернобыльская АЭС, 1986 г.	$1,85 \cdot 10^{18}$	$8,1 \cdot 10^{15}$	(3,7... $6,3) \cdot 10^{17}$	$7,4 \cdot 10^{16}$	3000	20000***

*Превышение содержания в почве глобального ^{90}Sr 0,1 Ки/км² (3,7 кБк/м²).

**Превышение содержания ^{131}I в молоке по нормативу, принятому в Великобритании [$1 \cdot 10^{-7}$ Ки/л (3,7 кБк/л)].

***Превышение плотности выпадений ^{137}Cs 5 Ки/км² (185 кБк/м²).

Серьезные проблемы в сфере агропромышленного производства возникли после трех крупнейших радиационных аварий, сопровождавшихся выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду и загрязнением достаточно обширных территорий, в том числе сельскохозяйственного назначения. В 1957 г. на Южном Урале произошел тепловой взрыв емкости, где хранились радиоактивные отходы, с образованием Восточно-Уральского радиоактивного следа [суммарный выброс 2 МКи ($7,4 \cdot 10^{16}$ Бк), наиболее важные радионуклиды — ^{90}Sr , ^{144}Ce + ^{144}Pr , ^{95}Zr + ^{95}Nb , ^{106}Ru + ^{106}Rh]. В 1957 г. на плутониевом заводе в Уиндскейле (Великобритания) после пожара на реакторе по получению оружейного плутония произошел выброс свежих продуктов деления (важную роль играл ^{131}I). В 1986 г. на Чернобыльской АЭС имела место наиболее крупная в истории мировой атомной энергетики авария с разрушением активной зоны реактора. В атмосферу было выброшено 50 МКи ($1,85 \cdot 10^{18}$ Бк) радионуклидов, среди которых наибольшее влияние на агропромышленное производство оказали ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu и некоторые другие. В таблице 15.13 представлены основные данные, характеризующие эти ядерные аварии.

При радиационной аварии с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду и загрязнением сельскохозяйственных угодий принято выделять несколько периодов в развитии радиационной ситуации, различающихся по мероприятиям, проводимым в сфере агропромышленного производства с

целью обеспечения минимального загрязнения продукции и при необходимости ограничения дозовых нагрузок на сельскохозяйственных животных. Аналогичную периодизацию проводят в отношении мероприятий по обеспечению радиационной безопасности населения; последняя может несколько отличаться от периодизации для АПК, однако некоторые черты у них общие. При выполнении комплекса защитных мероприятий в АПК на загрязненных территориях для специалистов сельского хозяйства, естественно, предусматривается обеспечение условий работы, отвечающих нормам радиационной безопасности.

Если выброшенные радиоактивные вещества представлены смесью радионуклидов с различным периодом полураспада (например, свежей смесью (3- и γ -излучателей из числа продуктов деления, накопленных в активной зоне реактора, а также α -излучателей из состава неразделившегося ядерного топлива), то в раннюю (острую) фазу аварии мощности доз на местности достигают максимальных значений, а решающую роль в загрязнении растений играет аэральный путь — прямое осаждение радионуклидов на надземные части. Продолжительность острой фазы составляет до одного года после выброса. Степень радиоактивного загрязнения растений зависит от времени года, когда произошла авария. Наибольшие концентрации радионуклидов в растениях отмечают в тех случаях, когда радиоактивные выпадения происходят в весеннее и летнее время (в период вегетации). В раннюю фазу аварии не исклю-

чено лучевое поражение сельскохозяйственных животных, так как поглощенные дозы могут достигать высоких значений (вплоть до летальных). В острую фазу аварии важная роль принадлежит некоторым короткоживущим биологически значимым радионуклидам (особенно ^{131}I радионуклидам I, в первую очередь ^{131}I). Быстрый переход радионуклидов I в молоко и их последующее накопление в щитовидной железе как животных, так и человека могут привести к ее радиационному поражению. Не случайно ранняя фаза аварии считается периодом «йодной опасности».

Вторую фазу радиационной аварии называют промежуточной, она охватывает 2—4 года после выброса. Для нее характерно снижение мощности дозы облучения, поэтому основную роль в загрязнении растений начинает играть поглощение радионуклидов из почвы. Радиологическая обстановка в агросфере начинает стабилизироваться.

По истечении 4—5 лет после аварийного загрязнения наступает отдаленная фаза, когда радиоактивное загрязнение растениеводческой и животноводческой продукции определяется долгоживущими радионуклидами (^{90}Sr и ^{137}Cs). Присутствие в выброшенной в окружающую среду смеси ^{90}Sr и ^{137}Cs приводит к тому, что радиационная опасность на загрязненных сельскохозяйственных угодьях сохраняется в течение очень длительного времени (десять лет).

В основу организации агропромышленного производства на загрязненных угодьях положен зональный принцип, согласно которому особенности ведения сельского хозяйства, а также интенсивность защитных мероприятий, направленных на получение продукции, отвечающей радиологическим стандартам, определяются плотностью радиоактивного загрязнения, исходя из которой территорию разделяют на зоны с определенным содержанием радионуклидов. Разделение на зоны по плотности радиоактивного загрязнения предопределяется неодинаковым накоплением биологически значимых радионуклидов в основных сельскохозяйственных продуктах (молоко, мясо, продукция растениеводства и др.). Так, в регионе аварии на Чернобыльской

АЭС в 1986 г. в АПК были выделены зоны с плотностью загрязнения ^{137}Cs (критический радионуклид): до 5 Ки/км² (185 кБк/м²), 5...15 (185...555), 15...40 (555...1480) и свыше 40 Ки/км² (1480 кБк/м²). В каждой из указанных зон была введена дифференцированная система агропромышленного производства, обеспечивающая получение продукции, отвечающей радиологическим стандартам.

Зонирование территории Восточно-Уральского радиоактивного следа, где критическим радионуклидом был ^{90}Sr , проводили по этому радионуклиду. В зоне с плотностью загрязнения ^{90}Sr до 1 Ки/км² (37 кБк/м²) никаких ограничений на ведение сельского хозяйства введено не было. В зоне с уровнем загрязнения ^{90}Sr 1...2 Ки/км² (37...74 кБк/м²) допускались выращивание зерновых и кормовых культур на пахотных землях и ведение молочного и мясного животноводства без каких-либо ограничений на естественных лугах после их перепахивания и высева одно- и многолетних культур. На территории с плотностью загрязнения ^{90}Sr 2...4 Ки/км² (74...148 кБк/м²) допускались возделывание зерновых культур на семена и фураж; ведение свиноводства и птицеводства; молочное животноводство при условии переработки молока в масло и мясное животноводство с заключительным откормом на рациионе с минимальным содержанием ^{90}Sr . В зоне с плотностью загрязнения ^{90}Sr свыше 4 Ки/км² (148 кБк/м²) ведение агропромышленного производства было прекращено.

Несмотря на очевидные преимущества зонального подхода к ведению АПК на загрязненных угодьях, позволяющего применять дифференцированную систему функционирования различных отраслей сельского хозяйства, минимизирующую концентрацию радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и рационе питания человека, он обладает существенным недостатком, который обусловлен следующими обстоятельствами. Как известно, переход радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию напрямую зависит от плотности загрязнения ими сельскохозяйственных угодий, кроме того, этот переход также существенно зависит от

свойств природной среды, прежде всего типа почвы. Поэтому если загрязнение охватывает регион, где распространены почвы разных типов, то при одном и том же уровне содержания радионуклидов в агроценозе их концентрация в одном и том же виде сельскохозяйственной продукции может существенно отличаться в зависимости от типа почвы. В этой связи более корректным было бы зонирование загрязненных территорий (сельскохозяйственных угодий) по дозовому принципу, т. е. по дозам внутреннего (или общего, суммарного) облучения населения. Однако с практической точки зрения, особенно в ранний аварийный период загрязнения окружающей среды, внедрение этого принципа затруднительно. Реализация перехода на дозовый подход к ведению АПК возможна на более поздних этапах поставарийного периода после сбора и анализа радиоэкологической информации по параметрам миграции критических радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам, структуре рациона населения, инфраструктуре АПК и т. д.

При ведении агропромышленного производства на землях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, вводится комплекс защитных мероприятий, цель которых — получение продукции, отвечающей радиологическим стандартам, и минимизация доз облучения населения, потребляющего радионуклидсодержащие пищевые продукты. Эффективность контрмер в агропромышленном комплексе оценивается по радиоэкологическим показателям (по снижению концентрации радионуклида в сельскохозяйственном продукте), радиологическим критериям (по уменьшению дозы облучения человека при потреблении им радионуклидсодержащей сельскохозяйственной продукции) и радиолого-экономическим показателям (экономические затраты на единицу снижения дозы облучения).

Эффективность защитных мероприятий в АПК как одной из составляющих общей системы мер по ликвидации последствий аварии зависит от вклада внутреннего облучения, т. е. облучения, обусловленного потреблением загрязненных пищевых продуктов, в суммар-

ную дозовую нагрузку (иными словами, от соотношения доз внешнего и внутреннего облучения населения). Значение контрмер в сельском хозяйстве, естественно, будет тем выше, чем больше вклад внутреннего облучения в общую дозу.

Знание типичных радиологических ситуаций позволяет заблаговременно прогнозировать относительную значимость внешнего и внутреннего облучения населения и планировать на этой основе соответствующие профилактические мероприятия. Однако реальный вклад этих источников радиационного воздействия в суммарную дозу может существенно варьировать даже для одного типа радиологической ситуации, например, от преимущественно внешнего облучения (при проживании и ведении трудовой деятельности на загрязненной территории и снабжении населения привозными «чистыми» продуктами) до преобладания внутреннего облучения (при потреблении содержащих радионуклиды продуктов питания за пределами загрязненного региона). Следует учитывать также, что возможности уменьшения внутреннего облучения, обусловленного потреблением загрязненных продуктов питания, гораздо шире, чем внешнего (снижение доз внешнего облучения населения на больших территориях связано, как правило, с очень высокими экономическими затратами).

Защитные мероприятия в АПК на загрязненных радиоактивными веществами территориях можно разделить на две группы: традиционные (обычные) и специальные. При применении первых из них одновременно достигаются две цели: увеличение плодородия почвы, рост урожайности, улучшение качества продукции растениеводства и возрастание продуктивности животных, с одной стороны, и снижение концентрации радионуклидов в агропромышленной продукции — с другой. При внедрении второй из указанных групп контрмер — специальных — ставится лишь одна задача — снизить концентрацию радионуклидов в сельскохозяйственной продукции (табл. 15.14).

В *земледелии* одна из обычных защитных мер на загрязненных territori-

15.14. Эффективность мелиоративных сельскохозяйственных мероприятий при радиоактивном загрязнении

Защитное мероприятие	Снижение концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в продукции, число раз
Перепахка почв после поверхностного загрязнения	1,2...1,6
Известкование кислых почв	1,8...2,2
Внесение минеральных удобрений	1,5...3,5
Мелиорация лугов после поверхностного загрязнения	До 5...10
Технологическая переработка продукции	До 10...20

ях — обработка почвы. При перепахивании загрязненных почв после аэрального выпадения радионуклидов они оказываются равномерно распределенными в пахотном слое и их накопление в растениях в результате корневого поглощения падает (при этом одновременно снижается мощность дозы внешнего излучения вследствие заглубления радионуклидов и экранирования их излучения, что важно для уменьшения дозы облучения находящихся в поле людей). Предложены различные агротехнические приемы обработки почвы, которые предусматривают минимальное пыление, что исключает вторичное загрязнение растений и улучшает санитарно-гигиенические условия работы механизаторов. На плодородных тяжелых по гранулометрическому составу почвах возможна обработка почвы с размещением верхнего радионуклидсодержащего слоя на глубине до 50 см, что снижает поступление радионуклидов в растения.

В агрохимии важнейшим способом уменьшения концентрации радионуклидов является внесение минеральных и органических удобрений, а также известкование кислых почв. Снижение перехода радионуклидов из почвы в растения при внесении минеральных удобрений и известковании может происходить вследствие влияния различных факторов — изменения режима питания растений (усвоение минеральных элементов и радионуклидов как микропримесей), изменения доступности радионуклидов для растений в результате происходящих в почве химических реакций и т. п. Следует отметить роль ан-

тагонизма в усвоении растениями важнейших в биологическом отношении долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs и их химических аналогов — неизотопных носителей — Са (известкование) и К (калийные удобрения) соответственно.

В растениеводстве важным способом снижения поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры служит подбор видов и сортов растений, характеризующихся минимальным накоплением радионуклидов. В луговодстве и кормопроизводстве к числу наиболее эффективных по радиоэкологическим показателям (снижение концентрации радионуклидов в растениях) относится перевод низкопродуктивных естественных пастбищ в искусственные (сеяные травы) с известкованием и внесением удобрений. В защите растений, выращиваемых на загрязненных угодьях, важную роль играет оптимизация применения химических средств защиты, обеспечивающая минимизацию содержания токсикантов в пищевых продуктах (радионуклидов и веществ нерадиационной природы).

В животноводстве основное внимание уделяют рациональному кормлению животных, обеспечивающему получение продукции, отвечающей радиологическим стандартам (в частности, перевод животных в предубойный период на «чистые» корма, введение в рацион специальных добавок для ограничения перехода радионуклидов в продукцию животноводства, например, ферроцианидов для снижения концентрации ^{137}Cs в молоке и мясе, кальциевых препаратов для уменьшения перехода ^{90}Sr в молоко).

В ветеринарной медицине при содержании животных на загрязненных территориях применяют комплекс мер, направленных на исключение лучевой патологии (ограничение поступления радионуклидов в организм животных и обусловленное этим снижение дозы внутреннего облучения, уменьшение дозы внешнего облучения).

В перерабатывающих отраслях АПК используют ряд технологических процессов, обеспечивающих более низкие концентрации радионуклидов в конечных (пищевых) продуктах, чем в сырье

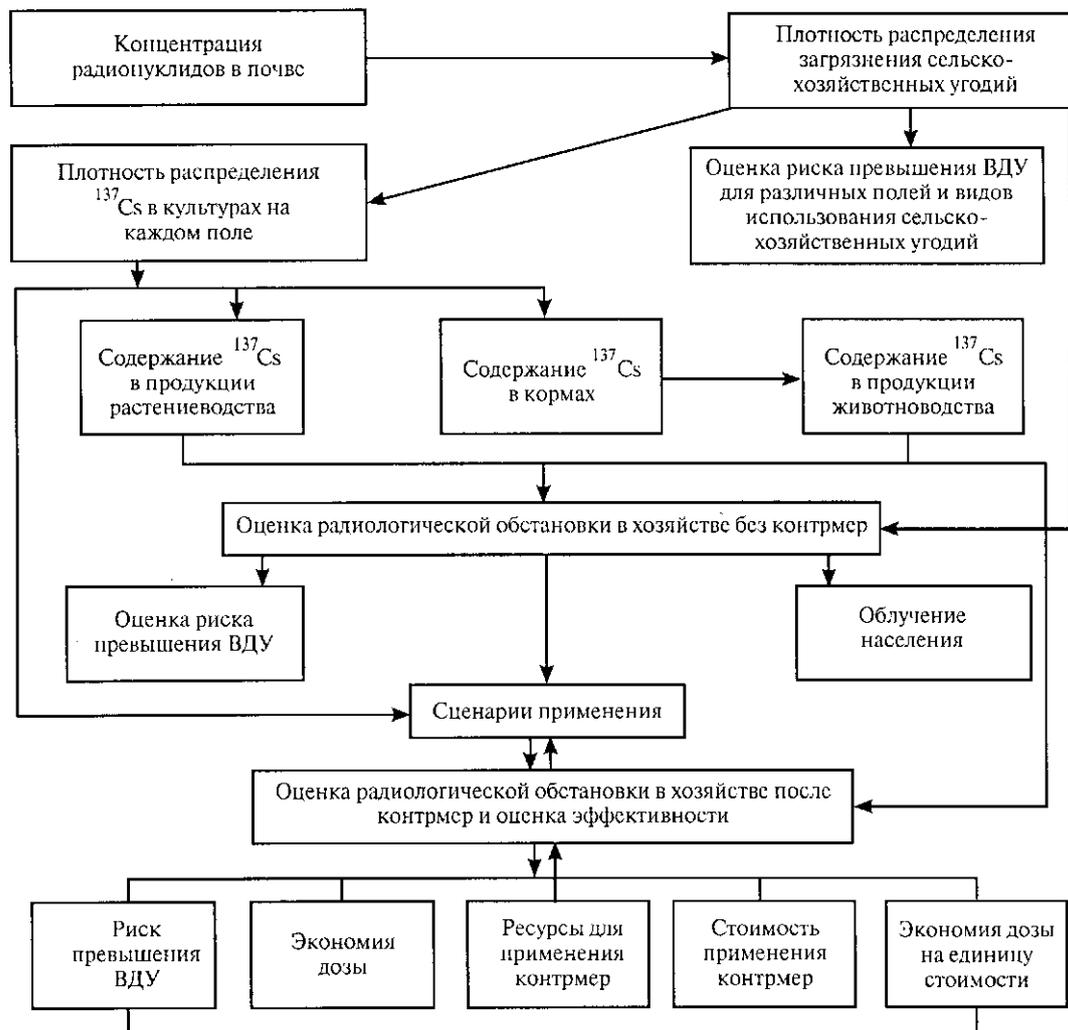


Рис. 15.5. Концептуальная схема системы поддержки принятия решений по ведению сельскохозяйственного производства на загрязненных территориях (Фесенко, 1997)

(например, переработка молока в масло, получение сахара, растительного масла, крахмала).

При сильном радиоактивном загрязнении сельскохозяйственных угодий получение пригодной по содержанию радионуклидов продукции становится невозможным, точнее нерациональным с экономической и радиационно-гигиенической точек зрения. В этих случаях может оказаться целесообразным пере-профилирование отдельных отраслей АПК, а в крайнем случае — полное прекращение сельскохозяйственной деятельности человека (как это было, на-

пример, в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС или в «головке» Восточно-Уральского радиоактивного следа). В этих случаях возникает проблема постепенной реабилитации загрязненных сельскохозяйственных угодий и возвращения их в хозяйственный оборот с учетом радиологических характеристик (распад радионуклидов, уменьшение их биологической подвижности в агро-сфере) и экономико-социальных факторов. Обобщенная схема изменений в структуре АПК на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, представлена в таблице 15.15.

15.15. Радиологическая эффективность и социально-экономические последствия изменения характера землепользования на загрязненных территориях (Алексахин, Фриссел, 1993)

Изменение	Коэффициент снижения концентрации радионуклидов*	Социально-экономические последствия
Замена сортов растений в пределах одного вида	До 2...4	Очень незначительные
Замена производства одних культур на сходные культуры (но других видов)	До 2...3	То же
Переход от производства овощных культур к зерновому хозяйству	До 5	Серьезные
Переход от производства зерновых к производству других культур пищевого назначения (например, сахарной свеклы, масличных культур)	» 10	Незначительные
Переход от зернового хозяйства к производству технических культур (например, льна)	» 10	
Замена растениеводства на животноводство	10...100	Очень серьезные
Замена овцеводства и козоводства на крупный рогатый скот	До 10	Незначительные
Переход от производства молока на мясное скотоводство	Значительно зависит от технологических возможностей	
Переход от растениеводства к лесному хозяйству	» 100	Очень серьезные
Переход от животноводства к лесному хозяйству	» 100	То же

* Коэффициент снижения концентрации радионуклидов = Концентрация радионуклидов в альтернативном продукте / Концентрация радионуклидов в исходном продукте.

Многофакторность и многовариантность задач, возникающих при организации ведения агропромышленного производства на территориях с повышенным содержанием радионуклидов (т. е. подвергшихся радиоактивному загрязнению), приводят к необходимости разработки и реализации методов и программных систем для информационно-аналитической поддержки при принятии решений, направленных на получение сельскохозяйственной продукции, отвечающей радиоло-

гическим нормативам. Схема одной из таких систем приведена на рисунке 15.5. В ней предусмотрены анализ радиологической обстановки и определение возможных направлений использования мероприятий по реабилитации загрязненных угодий, а также моделирование защитных мероприятий. В конечном счете отрабатываются сценарии оптимальной организации агропромышленного производства с осуществлением комплекса защитных мероприятий.

Глава 16 АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

16.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Индустриальный подход к развитию систем ведения сельского хозяйства несомненно способствовал (особенно на

первых этапах) существенному наращиванию производства биологической продукции. Нелишне, в частности, вспомнить, что в XX в. средняя урожайность зерновых в развитых странах

возросла примерно втрое, качественно изменив продовольственную ситуацию во всем мире. В развивающихся странах, особенно в Мексике и Индии, «зеленая революция» также внесла важнейшие изменения в судьбы народов.

Вместе с тем стало очевидным, что возрастающий при этом техногенный пресс породил и порождает негативные проблемы во взаимодействии человека с окружающей природной средой в процессе сельскохозяйственного производства, носящие как кратковременный, так и долгосрочный характер. Такого рода развитие процесса, идущее, условно говоря, по логистической кривой, объективно и закономерно отражает переход количественных изменений в качественные и т. д.

Ухудшение экологических параметров агроэкосистем в конечном счете сказывается на экономических показателях АПК. Поэтому невозможно регулировать экономическую эффективность в сфере агропроизводства без учета экологического фактора.

Например, необходимы затраты на сохранение почвенного плодородия, предотвращение загрязнения окружающей природной среды. Они требуются также для производства экологически чистой продукции, компенсации потерь в случае получения продуктов, не отвечающих нормативам.

Современное сельскохозяйственное производство сориентировано в принципе на получение максимального объема товарной продукции в каждой агроэкосистеме. Продуктивность последних, как уже отмечалось, зависит, с одной стороны, от состояния и степени освоения природно-ресурсного потенциала, а с другой — от уровня технической вооруженности совершенными машинами и орудиями, применения удобрений и средств защиты растений, фитогормонов, внедрения новых сортов и т. д., т. е. от полноценного комплекса факторов интенсификации. Однако многочисленные факты негативных последствий, обусловленных сугубо технократическим подходом к интенсификации, стимулировали интерес к так называемому «биологическому земледелию» (тождественные или близкие к нему понятия «альтернативное», «неортодок-

сальное», «природное» и т. п.). Свидетельством этому являются научные конференции, появление специальных журналов, создание международного центра биологического земледелия и др.

Наряду с традиционными приемами ведения сельского хозяйства во многих странах развивается альтернативное земледелие, основанное на строгом соблюдении научных рекомендаций по освоению природно-ресурсного потенциала сельскохозяйственных угодий и более умеренном использовании факторов интенсификации с целью уменьшения техногенных воздействий на агроэкосистемы, а также сохранения функциональных компонентов динамического равновесия составляющих агроэкосистемы.

Вовлекая в интенсивную эксплуатацию около 10 % суши, сельскохозяйственное производство существенно, а в ряде случаев и решающе, влияет на развитие деградационных процессов в окружающей природной среде. При определенных условиях факторы интенсификации, например внесение минеральных удобрений в дозах, превышающих нормативные потребности, избыточное использование химических средств защиты растений и регуляторов роста, внедрение одновидовых посевов на больших площадях и т. д., приводят к нарушению экологического равновесия, «блокируют» функциональные возможности природного биоэнергетического потенциала агроэкосистем.

Основа альтернативного (биологического) земледелия — сокращение до разумного минимума внешнего антропогенного воздействия на агроэкосистему, создание максимума благоприятных предпосылок для полноценного использования ее собственного биопотенциала.

В теории систем известны компромиссы Паретто, представляющие собой стратегию разумных соглашений. При реализации этой стратегии положение отдельных компонентов системы становится хуже, но состояние системы в целом улучшается и, следовательно, в итоге приводит к улучшению состояния всех компонентов системы. Если эту теорию применить к экологии, то в результате такой стратегии должно улуч-

шатся состояние биосферы и соответственно всех ее составляющих. Компромиссные решения характерны для взаимоотношений между материальными и экологическими интересами. Нетрудно заметить, что альтернативное земледелие по своей сути тоже своеобразный компромисс.

16.2. РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В ряде западных стран альтернативное земледелие получило название «сельское хозяйство выживания». В 1972 г. в Версале (Франция) была создана Международная организация органического земледелия (IFOAM). Первоначально в нее входили только ученые-аграрники, считавшие, что традиционное земледелие развивается в неверном направлении.

Большой интерес к альтернативному ведению сельского хозяйства в конце 80-х годов был обусловлен и тем, что значительно возрос спрос на биологически чистые продукты питания. IFOAM включает около 300 экологических союзов из десятков стран. При этом во многих западных странах союзам альтернативного земледелия предоставляют кредиты.

В августе 1990 г. в Будапеште состоялось Генеральное собрание IFOAM, на котором было принято решение довести мировое производство экологически безопасных продуктов до 10...20 % общего объема рыночного потенциала.

О развитии альтернативного земледелия в разных странах можно судить по материалам обследований ЕС.

Страна	Число ферм, производящих экологически чистую продукцию	Площадь, тыс. га
Бельгия	150	1,0
Великобритания	575	13,0
Германия	2685	54,3
Дания	500	7,0
Ирландия	97	1,5
Испания	350	2,8
Италия	800	9,0
Люксембург	11	0,45
Нидерланды	410	6,2
Польша	34	0,42
Франция	3000	20,0
США	30000	200,0

Комиссия ЕС разрабатывает и обсуждает законодательные проекты, направленные на защиту альтернативного земледелия, поскольку более высокие цены на экологически чистую продукцию спровоцировали мошенничество с сертификатами. Например, торговые наценки на экологически чистую продукцию при прямой реализации в Германии составляли (DM/т): пшеница — 40...870; рожь — 500...870; продовольственный картофель — 140...340; морковь — 1200; молоко — 200...400.

Законодательное регулирование альтернативного земледелия осуществляют в Австрии, Дании, Испании и Франции.

Все больше внимания альтернативному земледелию уделяют и в России. Основным пропагандистом альтернативного сельского хозяйства призвана стать ассоциация фермеров России АЛЬТАГРО при поддержке IFOAM.

В России также есть примеры успешного длительного использования принципов альтернативного земледелия. Так, в Муромцевском районе Омской области 16 хозяйств отказались от применения пестицидов при возделывании зерновых культур. Средний урожай в них был больше, чем в среднем по области. Себестоимость 1 т зерна, полученного без применения гербицидов, оказалась в 1,2... 1,5 раза меньше. Отказались от применения пестицидов хозяйства объединения «Омский бекон». В Белореченском районе Краснодарского края многие хозяйства работают по беспестицидной технологии выращивания риса и гречихи. Кубанским сельскохозяйственным институтом разработаны и внедрены в практику технологические приемы возделывания риса с малым расходом воды и без гербицидов.

Определенную работу по усилению экологической направленности АПК проводят российские фермеры, сотрудничая с кафедрами МСХА им. К. А. Тимирязева, где давно ведут исследования по альтернативному земледелию в России.

В целом доля экологически чистых хозяйств пока не превышает 1...2 % общего их числа, а вклад в общую продукцию сельского хозяйства весьма и весьма незначителен.

Цели и основные направления альтернативного земледелия. Четко разграничить альтернативное (биологическое) земледелие и традиционное достаточно сложно. Между ними существуют плавные переходы.

Тем не менее цели альтернативного (биологического) земледелия можно свести к следующим: сохранение и повышение плодородия почвы; защита окружающей природной среды; активизация круговоротов веществ и переноса энергии в агроэкосистемах; снижение материал- и энергоемкости получаемой продукции; экономия ресурсов невосполнимой энергии; улучшение качества производимой продукции; производство гарантированного количества продукции; обеспечение устойчивости агроэкосистем.

Альтернативное земледелие развивается в следующих направлениях: органическое, биодинамическое, органобиологическое и др.

Органическое земледелие. При ведении его исключается или существенно сокращается применение минеральных удобрений и пестицидов. Широко распространено в США. Приемы органического земледелия обеспечивают рациональное использование природных ресурсов, минимальное снижение (а в отдельных случаях и повышение) урожайности кукурузы и сои при неблагоприятных почвенно-климатических условиях, эффективное использование природной энергии при выращивании пшеницы, кукурузы, картофеля и яблок. Однако при этом увеличиваются трудовые затраты (на 12...20 %), снижается производительность труда (на 22...95 %), возможно уменьшение урожайности (например, пшеницы — до 43 %).

В органическом земледелии США обычным для севооборотов является чередование бобовых культур с культурами, характеризующимися высокой потребностью в азоте. Почву обрабатывают без оборота пласта (дискование, щелевание и т. п.). Борьбу с сорняками ведут как с помощью культур, представленных в севообороте, так и промежуточных культур, уплотненных посевов, покровных культур в междурядьях.

От насекомых растения защищают

энтомофаги: златоглазка, трихограмма, хищные клещи (Фитосейулус), а также биопрепараты. Так, против чешуекрылых применяют бактериальный штамм *Bacillus thuringiensis*, который является активным компонентом в большинстве промышленных препаратов. Против колорадского жука эффективен грибной препарат боверин, в состав которого входит гриб *Beaveria bassiana*. При попадании в организм насекомого гриб выделяет токсины — боверицин и циклодепептид. Хорошо зарекомендовали себя инсектициды растительного происхождения, а также специальные ловушки с аттрактантами для чешуекрылых, а против болезней — растительные составы и слаботоксичные препараты. В органическом земледелии минеральные азотные удобрения заменяют высококачественными органическими (навозом, компостом, зелеными удобрениями).

В данной системе земледелия широко применяют минеральные удобрения, имеющие слабую растворимость в воде.

Считают, что полную отдачу от органического удобрения можно получить, если его применять в биологически благоприятное время, а форма удобрения максимально способствует наилучшему усвоению питательных веществ агроэкосистемой.

В первую очередь это относится к компосту. Приготовление компостов имеет огромное гигиеническое значение. При компостировании происходит инактивация многих возбудителей болезней. При высокой температуре внутри компостной кучи гибнут бактерии, вызывающие поражение культурных растений. Исследования показали, что яйца фитогельминтов погибают через 5...6 сут после начала процесса активного компостирования, а семена многих сорняков теряют всхожесть, т. е. можно предельно минимизировать использование гербицидов, используя агротехнические приемы.

Компостируют навоз в аэробных условиях в буртах (штабелях) длиной Ю0...120 м шириной по основанию 2,5...4,0 м. После первоначального разогревания и последующего постепенного снижения температуры складываемой массы одна за другой развиваются

популяции полезной микрофлоры. Необходимо помнить, что процесс компостирования при недостаточной влажности и слабом доступе воздуха может легко перейти в процесс консервации, поэтому важно следить, чтобы при разложении соломы с навозом было достаточно кислорода. Согласно Г. Копфу, температура внутри компостной массы не должна подниматься выше 52 °С.

В зависимости от условий местного климата процесс компостирования продолжается от 3 до 6 мес. Созревший же компост может храниться достаточно долго, не утрачивая своей ценности. Первоначальное разогревание можно обеспечить, применив черную полиэтиленовую пленку.

Начальная влажность компостируемого материала должна составлять 65 %. Требуемого температурного режима можно достичь, используя следующие приемы:

добавляя 5... 10 % почвы, равномерно распределяя ее по всему объему;

добавляя ровный слой свежего навоза (можно делать ежедневно);

используя технику для перелопачивания навоза; в сухом и жарком климате следует заботиться о том, чтобы бурты не потеряли слишком много влаги.

Во время компостирования часть углерода и около 15...25 % азота теряется (Г. Копф). Если навоз сваливают на местах слишком влажных или сухих, он теряет 60 % азота и более.

Компост — лучшее удобрение для требовательных к питанию культур (капуста, картофель, кукуруза, свекла).

При интенсивных процессах компостирования исходные вещества полностью трансформируются. Высвобождающийся при этом азот снова фиксируется микроорганизмами. В итоге в компосте содержится более 95 % органически связанного азота. Чтобы стать доступным растениям, он должен сначала минерализоваться. При оптимальном компостировании потери азота, как правило, незначительны. При брожении штабельного навоза азот накапливается в виде аммония, который непосредственно доступен растениям, но в случае прямого контакта с воздухом (разбрасывание навоза, внесение в почву) происходит большая потеря аммиака (табл. 16.1).

В готовый компост иногда добавляют калийные и фосфорные удобрения.

Биодинамическое земледелие. Развитие данного типа земледелия приходится на конец 30-х годов нашего столетия. В общей структуре сельскохозяйственных предприятий Западной Европы оно составляет менее 1 %.

Биодинамическое земледелие — наиболее давнее организованное движение в сельском хозяйстве. С начала своего становления это направление объединяло биологический, технический, экономический и социальный аспекты сельского хозяйства. Начиная с 1928 г. биодинамическое движение впервые организовало продажу сертифицированных продуктов питания. (Производство соответствующих ферм носит марку «Деметр».)

В этом случае проблему земледелия

16.1. Способы приготовления навоза и компостирования (при внесении в качестве основного удобрения) для различных сельскохозяйственных культур (по А. Бренер)

Сельскохозяйственная культура	Свежий навоз (до 2 мес)	Штабельный навоз		Старый компост (6... 12 мес)
		плотный	рыхлый; молодой компост (2...4 мес)	
Озимые зерновые	—	—	XX	XX
Яровые зерновые	—	X	XX	X
Картофель, кукуруза	X	XX	XX	—
Капуста	—	X	XX	—
Свекла столовая	—	—	XX	XX
Лук	—	—	XX	XX
Клевер, горох, фасоль	—	—	—	XX
Рапс	X	—	XX	X
Луговые травы:				
влажные участки	X	—	XX	XX
сухие участки	—	—	—	XX

Примечание. «—» — непригодный; X — пригодный; XX — особенно пригодный.

рассматривают комплексно, т. е. сельское хозяйство, человек, окружающая среда, космос, а также их взаимовлияние. Минеральные удобрения и пестициды не применяют вообще. Для борьбы с болезнями растений широко используют препараты растительного происхождения: настои тысячелистника, крапивы, ромашки, валерианы и т. д.

Основоположником биодинамики является немецкий ученый Рудольф Штейнер (1861-1925).

Биодинамические фермы создают по подобию организма. Термин «организм» — центральный в биодинамике. Обычно под организмом понимают отдельное растение или животное. Однако сообщества растений и животных, система «растение — почва» и даже более крупные экологические единицы могут иметь некоторые характерные признаки организма.

Биодинамические фермы стремятся обеспечить себя удобрениями и кормами. В качестве удобрений здесь используют различные компосты и специальные минеральные добавки (кремний, роговая мука, костяная мука, известняки и др.).

В защите растений применяют препараты на основе кремния, а также биодинамические препараты на растительной основе.

Элементы биодинамики приводятся в астрологических календарях. Противники системы биодинамического земледелия считают, что оно целесообразно лишь при относительно низкой продуктивности агроценозов.

Органобиологическое земледелие. Это направление равнозначно экологическому, альтернативному и биологическому, а также технологии Леметр — Буше (Франция) или Мюллер — Руша (Швейцария). В основе его лежит идея о том, что минеральные вещества из почвы поглощаются не только в форме ионов, но и макромолекул (микросом) и служат питательным веществом для почвенных микроорганизмов, которые перерабатывают трудноусвояемые соединения в легкодоступные для растений формы. Поэтому главное в органобиологическом земледелии — повышение плодородия почвы за счет управления питанием путем активизации почвенной

микробиоты, для чего компосты вносят поверхностно, а при обработке верхних слоев стремятся сохранить структуру почвы. Защита растений от вредителей и болезней осуществляется так же, как и в органическом земледелии.

Свойства почвы улучшают прежде всего путем возделывания травяных смесей в севооборотах. Смесей должны содержать семена холодостойких растений. Состав смесей, например, может быть таким:

Культура	Семена, кг/га
Чина	20
Гречиха	15
Вика мохнатая	10
Горчица белая	10
Клевер пунцовый	6
Донник	6
Горох	5

Зеленая масса травяной смеси является, кроме того, хорошим кормом. При отсутствии в хозяйствах скота скошенную зеленую массу вывозят и компостируют. Непосредственное внесение зеленой массы в почву нерационально. Если заделывать зеленую массу будут осенью, то скашивание проводят многократно. После таких смесей на рекультивированном поле получают высокие урожаи картофеля и свеклы.

Следует отметить, что при использовании данных систем земледелия не исключена возможность применения удобрений (известняк, бентониты, фосфаты, костная мука и др.), содержащих в своем составе минеральные элементы в труднорастворимой форме.

Система ANOG (разработана комитетом по выращиванию сельскохозяйственных культур с естественным качеством). По сравнению с другими эта система ближе к традиционному сельскому хозяйству. Она получила условное название «близкое к природе» и в основном совпадает с органобиологическим земледелием. Исходя из научного анализа состояния почв, для каждого хозяйства разрабатывают индивидуальные планы внесения органических удобрений. Допускается применение всех синтетических препаратов (кроме гербицидов), но при тщательном контроле содержания остаточных количеств химикатов в продукции.

В заключение следует отметить, что необходим взвешенный подход к внедрению рассмотренных систем или отдельных их элементов. Суть проблемы заключается в том, чтобы заимствовать все лучшее, что есть в них, и использовать с учетом накопленного научного и практического потенциала ведения сельскохозяйственного производства, тем более что исторически российское земледелие было экологичным. Имеются объективные предпосылки для возрождения его традиционных элементов.

Использование элементов экологических агроприемов на примере возделывания картофеля. Изложенные общеметодические подходы к экологическому земледелию уместно проиллюстрировать на примере возделывания картофеля. Первоочередным и первостепенным, бесспорно, является улучшение плодородия почвы, например, с помощью сидератов, способствующих саморегуляции почвенного плодородия агроэкосистемы. Одна из привлекательных сидеральных культур — белая горчица. Срок вегетации у нее составляет 45...60 дней. Она имеет мощную корневую систему, хорошо усваивает питательные вещества в труднорастворимой форме, превращая их в формы, доступные растениям.

В последние годы усилилось засорение полей однолетними сорняками, в том числе и вследствие применения свежего навоза и навозной жижи (семена сорняков в желудке животных не теряют всхожести).

Белую горчицу высевают обычными зернотравяными сеялками. Норма высева семян 25 кг/га. Семена заделывают на глубину 3...4 см. Во время полного цветения горчицу обязательно скашивают и запахивают.

Как свидетельствуют многочисленные опыты, запахка белой горчицы в зеленом виде по своему полезному действию превосходит любое удобрение. На почвах, бедных фосфатами, горчица усваивает труднорастворимые их формы, поэтому запаханная зеленая масса горчицы является дополнительным источником поступления фосфора в основную культуру. При этом значительно оздоравливается почвенная микрофлора.

Ниже приведены результаты иссле-

дований, позволяющие судить об эффективности использования горчицы в качестве сидеральной культуры под картофель по сравнению с органическими удобрениями (навозом):

Показатель	Навоз, 40 т/га	Запахка белой горчицы
Крахмал, %	16,0	19,0
Редуцирующие сахара, %	0,78	0,38
Нитраты, мг/кг	140	42

Из приведенных данных видно, что в клубнях картофеля увеличивается содержание крахмала, снижается содержание редуцирующих сахаров, что позволяет использовать их для промышленной переработки. Благодаря низкому содержанию нитратов такой картофель рекомендуется для диетического питания.

Очень важный момент — предпосадочная весенняя переборка картофеля. Она значительно облегчается, если отбирать клубни по удельной массе в солевых растворах, так как больные клубни содержат меньше сухого вещества, чем здоровые. В этом случае выбраковывают клубни со скрытой инфекцией, пораженные черной ножкой, кольцевой гнилью, фитофторой, нематодой, вирусными болезнями, а также пустотелые и физиологически невызревшие.

В результате увеличивается общий урожай и повышается выход клубней семенной фракции (табл. 16.2).

16.2. Выход клубней картофеля при разных способах подготовки семенного материала

Вариант	Масса клубней, г/куст	Выход клубней на куст				Выход семенных клубней, тыс. на 1 га
		все-го	мас-сой более 80 г	мас-сой 30...80 г	мас-сой менее 30 г	
Контроль (ручная переборка)	935,3	11,9	4,0	5,8	2,1	276
Отбор по удельной массе в солевом растворе плотностью 1,090...1,095, г/см ³	990,2	13,5	4,1	7,6	1,8	361.

Для приготовления рабочего раствора лучше всего использовать мочевины. Это удобрение быстро растворяется в воде, не вызывает солевых ожогов клубней. Необходимую плотность рабочего раствора подбирают по шкале ареометра. Если плотность рабочего раствора

находится в интервале 1,05...1,07 г/см³, то дополнительной отмывки клубней не требуется. Для посадки на семена необходима более жесткая выбраковка в разстве плотностью 1,090...1,095 г/см³. Такие клубни отмывают в чистой воде 1...1,5 мин.

При применении рассматриваемого метода переборки можно использовать сетчатые подъемники или специально сконструированные машины. Всплывшие большие клубни удаляют вручную или механизированным способом. После обработки в мочеvine в клубнях усиливаются ростовые процессы, поэтому посадку следует провести в течение 2...6 дней.

При возделывании продовольственного картофеля, как правило, завышают нормы удобрений с целью увеличения валового сбора, что отрицательно влияет на качество и сохранность продукции: повышается содержание нитратов, токсичных элементов (ртуть, свинец и др.), удлиняется вегетационный период. В результате картофель не полностью вызревает и плохо хранится. Потери в период хранения сводят практически к нулю полученную прибавку урожая. Все это — результат экологической неграмотности, последствия которой трудно устранить в кратчайшие сроки. Однако для начала нужно научиться предвидеть это.

Нетрадиционный способ получения высоких урожаев чистого товарного картофеля — снятие апикального доминирования у посадочных клубней. Апикальное доминирование связано с преобладающим сосредоточением активных веществ (ауксин, гиббереллины, витамины и аминокислоты) в апикальной верхней части, поэтому почки в средней части клубня развиваются хуже, а на нижней (базальной) части не развиваются вообще и отмирают. При воздействии на ростки растворами регуляторов роста активные вещества в материнском клубне перераспределяются. Клубень прорастает большим числом почек. Продуктивность растенный возрастает на 30...50 %, снижается содержание нитратов в клубнях.

Обработку ведут в специальных емкостях или в серийно выпускаемых комораздаточных тележках. Пророщенный картофель насыпают на сетчатый подъемник и опускают в емкость с ра-

створом на 50...60 мин, затем картофель высыпают в бункер транспортера, откуда он поступает в кузов автомобиля для транспортировки к сажалке. Для посадки пророщенного и обработанного картофеля используют шестирядную сажалку Л-202, выпускаемую в Белоруссии. Сажалки типа КСМ для посадки такого картофеля практически непригодны.

Несомненно, что альтернативой индустриальным системам земледелия и интенсивным технологиям возделывания сельскохозяйственных культур с учетом требований оптимизации природопользования являются высокопродуктивные экологически адаптивные агроэкосистемы и применяемые технологии, представляющие собой структурное и функциональное единство биотических, биотических и антропогенных факторов. Экологизация земледелия призвана в конечном счете перейти от стихийности природопользования к сознательной переориентации на гибкие научные стратегии, обеспечивающие природосообразную деятельность в сфере сельского хозяйства.

В заключение следует отметить, что после Римского симпозиума «Ко второй зеленой революции», состоявшегося в 1986 г., получило распространение понятие «вторая зеленая революция»: Как отмечают Р. М. Хазиахметов и Л. Г. Наумова, концепция сторонников этого направления заключается в том, чтобы снизить вложения антропогенной энергии в агроэкосистемы и заменить ее «внутренней» энергией биосистем. Между тем, согласно исследованиям Б. М. Миркина и Р. М. Хазиахметова, «вторая зеленая революция», направленная на изменение системы природопользования в сельском хозяйстве, не имеет под собой «социального заказа», поскольку в противовес «первой зеленой революции» способна привести не к росту, а к уменьшению производства сельскохозяйственной продукции. Хотя экологизация сельского хозяйства и является неизбежной, как одно из условий «устойчивого развития» (Башкин и др., 1991), идеология развития сельского хозяйства на агроэкологической основе может быть реализована в зависимости от демографических процессов лишь как достаточно медленная «зеленая революция» (табл. 16.3).

**16.3. Сравнение феноменологических моделей агроэкосистем «зеленой революции» и «зеленой эволюции»
(по Б. М. Миркину, Р. М. Хазиахметову)**

Характеристика	Модель	
	«зеленой революции»	«зеленой эволюции»
Потребление энергии: из традиционных (исчерпаемых) источников за пределами агроэкосистемы	Высокое	Умеренное
из нетрадиционных (неисчерпаемых) источников на территории агроэкосистемы	Низкое	»
Специализация хозяйств	Животноводческая или растениеводческая	Комплексная
Структура землепользования	В пашню вовлечены все земли, пригодные для обработки, включая часть маргинальных	Часть пахотнопригодных земель занята лесом и многолетними травяными сообществами
Общее биологическое разнообразие	Низкое	Умеренное и высокое
Направление селекции	Повышение продукционного потенциала Одновидовые посевы	Повышение адаптивного потенциала
Способ выращивания	Химический	Набор различных культур, севооборот
Контроль сорных видов, вредителей, болезней	Высокие дозы	Биологический, агротехнический
Использование минеральных удобрений	Незначительное	Невысокие дозы
Влияние биологической азотфиксации	Не используют	Значительное
Сидерация	Сильное	Используют
Механическое воздействие на почву (вспашка, уплотнение и т.д.)	Один, реже два вида (или породы) сельскохозяйственных животных	Умеренное
Структура поголовья скота	Преимущественно за счет пашни	Несколько видов или пород сельскохозяйственных животных
Обеспечение кормами		Преимущественно за счет естественных кормовых угодий

Глава 17

ВЕРМИКУЛЬТУРА И БИОГУМУС. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ И ПРИМЕНЕНИЯ



17.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРМИКУЛЬТУРЫ

Среди ключевых задач, стоящих перед сельскохозяйственной экологией, важное значение принадлежит конструированию оптимальных схем гармоничного развития биогеоценотического покрова, неотъемлемой составной частью которого являются агроэкосистемы (продукт процессов трансформации первичной биосферы в биотехносферу). Если объективно оценивать итоги пос-

ледних 15...20 лет, то нетрудно убедиться, что попытки повышения продуктивности сельскохозяйственного производства на сугубо технократической основе оказались в значительной степени тупиковыми. И первопричина тому — глубокий разрыв между антропогенными технологиями и законами функционирования экологических (в том числе и агроэкологических) систем, отсутствие оценки возможных последствий применяемых технологий для тех или иных природных комплексов. В свое время о

такой недалёковидности по отношению к почве было сказано, что всякий прогресс в повышении ее плодородия на данный срок есть в то же время прогресс в разрушении постоянных источников этого плодородия. Нельзя не признать, что этот тезис не только не потерял своего смысла в наши дни, а, наоборот, получил достаточно масштабное подтверждение, реализующееся в многоплановых негативных экологических проявлениях, которые повсеместно наблюдаются в аграрном секторе экономики. И прежде всего это относится к естественному базису сельскохозяйственного производства.

Вышесказанное дает весомые предпосылки говорить о необходимости системного управления продукционными процессами в агроэкосистемах. Основоплагающим при этом является надлежащий учет природных (биотических и абиотических) системообразователей, грамотная оценка особенностей их функционирования и развития. Продукционный процесс, разумеется, — весьма сложная динамическая система, формирующаяся из отдельных взаимосвязанных подсистем (блоков). Полученные научные обобщения и имеющиеся практические результаты позволяют обнадеживающе оценивать перспективы конструирования и управления в агроэкосистемах. Наглядным примером тому может служить вермикультивирование.

В последние годы во многих странах довольно широкое распространение получило одно из новых направлений биотехнологии — вермикультивирование, заключающееся в промышленном разведении некоторых форм дождевых червей (от *Vermes* — червь).

Формирование и развитие данного направления обусловлено возможностью решения на биологической основе ряда актуальных экологических задач (утилизация органических отходов, повышение плодородия почвы, получение высококачественного чистого органического удобрения, выращивание безопасной сельскохозяйственной продукции и др.).

Метод вермикультуры существенно ограничивает либо исключает опасность загрязнения среды различными поллютантами.

Особый интерес к вермикультивированию проявляют сторонники так называемого альтернативного земледелия, ратующие за отказ от применения минеральных удобрений и пестицидов и призывающие к широкому использованию компостов, способных поддерживать на высоком уровне биологическую активность почвы.

Первые хозяйства по искусственному разведению червей на отходах были созданы более полувека тому назад в США. (Червей разводили с целью получения наживки для рыбной ловли.)

В настоящее же время практика применения заметно расширилась, распространившись как в сельском хозяйстве, так и в других отраслях производства.

Биологическая характеристика вермикультуры. Вермикультура — это компостные черви в органическом субстрате. Нередко под этим термином подразумевают исключительно червей или, наоборот, только субстрат. Вермикультуру можно представить как сложное биоценотическое сообщество, ограниченное определенным биотопом в составе культурного ландшафта.

Черви объединяют несколько типов групп беспозвоночных, среди которых коловратки, нематоды, энхитреиды, кольчатые и дождевые черви. Именно последние имеют большое значение в почвообразовательном процессе, в формировании и поддержании плодородия почв.

Дождевые (земляные) черви — самые крупные обитатели почв среди беспозвоночных, входящие в состав почвенной макрофауны, на их долю приходится не менее половины всей биомассы почвы. Например, в лесных экосистемах масса червей составляет от 50 до 72 % всей почвенной биомассы.

Большинство дождевых червей, распространенных на территории нынешнего СНГ, относится к семейству люмбрицид (*Lumbricidae*), которое включает около 180 видов.

В целом же наиболее массовыми являются 15...16 видов, среди которых заметно доминирует вид *Nicodrilus caliginosus*. Обитает он обычно в распашанных почвах. Отсюда и название «пашенный червь».

Средний размер дождевого червя

9...13 см в длину (на Кавказе обитают черви длиной 45 см, а самый крупный червь в мире — *Megascolides australis* — имеет длину 2,5 м).

Плотность дождевых червей достигает в среднем 120 особей на 1 м², а биомасса — 50 г на 1 м² (при массе тела одного червя 0,5...1,5 г). В благоприятные периоды плотность пашенного червя может составить 400...500 экз. на 1 м².

Главный источник питания червя — растительные остатки. Не случайно присутствие его можно рассматривать как тест на обогащенность почвы органическим веществом. Дождевые черви, роаясь в почве, значительно влияют на ее свойства. Они способствуют перемешиванию и разрыхлению земли, накоплению органических веществ, образующих гумус. Для гумификации особенно важны два фактора — воздух и влажность. Дождевые черви улучшают аэрацию почвы, облегчают доступ влаги, усиливают процессы гумусообразования, нитрификации и аммонификации.

В зависимости от места обитания червей делят на 3 группы: поверхностно-живущие (подстилочные); почвенно-подстилочные; третья норники, которые прокладывают глубинные ходы в почве.

Например, пашенный червь живет на глубине 10...15 см. В сухую погоду он мигрирует на глубину 0,5 м и более, строит там капсулу и временно впадает в спячку (диапауза).

В природной обстановке в размножении люмбрицид отмечается сезонность. Максимум в интенсивности этого процесса наблюдается весной и осенью.

Черви могут голодать 2,5 мес. При низких температурах (0...5 °С) период голодания увеличивается до 3...4 мес.

Они влаголюбивы, умеренно теплолюбивы. Оптимальная температура для питания 20...25 °С, для размножения 12...17 °С. Нуждаются в аэрации.

Непригодны для культивирования червей песчаные и глинистые, кислые и засоленные почвы. Оптимальной реакцией среды является нейтральная или слабокислая. Черви очень боятся ветра.

В естественных условиях обитания черви не болеют и не подвергаются каким-либо эпидемиям.

Гибель дождевых червей в природ-

ных условиях довольно часто вызывает чрезмерная химизация почв.

Достаточно велико значение червей в облагораживании почв. Осознание этого предопределило большой интерес к искусственному их культивированию. Так, в результате многолетней селекционной работы, проведенной американскими исследователями, в 1959 г. в Калифорнии была выведена новая разновидность дождевого червя, получившая название «калифорнийский гибрид красного червя» или просто «калифорнийский красный червь». С 1979 г. его стали размножать в Западной Европе, в Японии.

По плодовитости и активности гибрид существенно превосходит обычного дождевого червя и в отличие от него хорошо поддается выращиванию в искусственных условиях.

В отличие от своих диких сородичей калифорнийский гибрид является «домоседом». При наличии пищи он не расползается и потребляет в день ее примерно столько же, сколько весит сам. Селекционеры генетически запрограммировали гибрид на круглосуточную переработку отходов с высоким коэффициентом полезного действия (40 % потребляемой пищи расходуется в процессе жизнедеятельности, а 60 % после переваривания выделяется в виде экскрементов — копролитов, т. е. продуцируемого биогумуса).

Значение дождевых червей в агроэкосистемах. В научной литературе на положительное влияние дождевых червей в почвообразовании впервые обратил внимание английский натуралист Г. Уайт. В книге, опубликованной в 1789 г., он пишет, что земля без дождевых червей была бы «холодной и непитательной». Основными же исследованиями по этому вопросу являются работы Ч. Дарвина (1881), который говорил о значении дождевых червей в формировании плодородия почв, что плуг принадлежит к числу древнейших изобретений человека, но еще задолго до его изобретения почва правильно обрабатывалась червями и всегда будет обрабатываться ими.

Дождевые черви благоприятно влияют на почву. В основном в результате их деятельности сотворены знаменитые черноземы — национальное богатство России.

Заглатывая кусочки органического вещества, черви трансформируют его в кишечной полости и выделяют в виде копролитов — «каменных» экскрементов. Копролиты улучшают почвенную структуру в результате обволакивания стенок почвы слизью, что предохраняет ее, например, даже от размывания водой. Под действием копролитов меняется также биохимический состав почвы. Копролиты содержат в 5 раз больше биологического азота; они в 7 раз богаче фосфором и в 11 раз калием по сравнению с поверхностным слоем плодородной огородной почвы. В копролитах сосредоточивается значительное количество кальция, что обеспечивает хорошую водопрочную структуру и высокую водоудерживающую способность. Наряду с этим кальций снижает кислотность среды и создает условия, затрудняющие развитие болезней растений, например фузариоза, ржавчины, бактериоза и др.

Возле копролитов энергично развивается полезная микрофлора. Все это в итоге улучшает условия жизни растений. Дождевые черви, как и другие живые организмы, обогащают почву макро- и микроэлементами, ростовыми веществами, антибиотиками. Фермент протеаза, входящий в состав биомассы червя, обладает биостимулирующим действием, улучшает усвояемость пищи животным, способствует ускорению их роста, активизирует физиолого-биохимические процессы в организме.

Общая длина ходов червей превышает 1 км под 1 м² поверхности почвы. Приняв среднюю массу червя за 0,5 г, а число их на 1 м² 50 особей (500 000 экзemplаров на 1 га), нетрудно подсчитать, что за 1 сут через кишечник червей на площади 1 га проходит 250 000 г (0,25 т) земли. Если предположить далее, что активная деятельность червей продолжается 200 дней в году, то количество земли, прошедшее через их кишечник, составит 50 т на 1 га (0,25 х 200). Учитывая же, что в 1 м² почвы обитает 400...600 особей, получается, что за год черви перерабатывают от 400 до 600 т/га земли.

Масса копролитов, ежегодно образующая червями в природных условиях, огромна. В Подмоскowie, например, на

поле многолетних трав на дерново-подзолистой почве (180 червей на 1 м²) образуется за год 53 т/га копролитов. В Средней Азии на поливных землях согласно Н. А. Димо при численности червей более 150 особей на 1 м² ежегодная продукция копролитов достигала более 120 т/га.

17.2. БИОГУМУС И ЕГО АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Препараты, получаемые на основе использования червей. Биогумус. Агроэкологическая оценка. На основе культуры червей изготавливают ценнейшее органическое удобрение, получившее в обиходе название «биогумус». (Это, разумеется, сугубо рекламное название вырабатываемого червями продукта.)

Биогумус представляет собой комковатое микрогранулярное вещество коричнево-сероватого цвета с запахом земли.

Биогумус содержит в хорошо сбалансированной и легкоусвояемой форме все необходимые для питания растений вещества. Среднее содержание сухой органической массы в биогумусе составляет 50 %, а гумуса — 18 %; реакция среды, благоприятная для растений и микроорганизмов, — рН 6,8...7,4; среднее значение общего азота достигает 2,2 %; фосфора — 2,6; калия — 2,7 % и т. д. Кроме того, в биогумусе представлены практически все необходимые микроэлементы и биологически активные вещества, среди которых ферменты, витамины, гормоны, ауксины, гетероауксины и др.

В лучших образцах биогумуса в 1 г насчитывается до нескольких миллиардов клеток микроорганизмов, что значительно превышает численность микробов в навозе (примерно 150...350 млн клеток). Биогумус отличается высокой ферментативной активностью, особенно оксидоредуктаз.

Следует отметить, что содержащееся в биогумусе органическое вещество в значительном количестве представлено гуминовыми кислотами (31,7...41,2 %) и фульвокислотами (22,3...34,8 %).

Среди гуминовых кислот преобладает наиболее ценная фракция — гуматы

кальция (43,3...47,6 %). Наличие в вермикомпосте фульватно-гуматного типа гумуса (Сг.к:Сф.к.т= 1,18...1,42) способствует формированию агрономически ценной структуры почвы. Элементы питания, находящиеся в биогумусе, взаимодействуя с минеральными компонентами почвы, образуют сложные комплексные соединения. Поэтому они надежно сохраняются от вымывания, медленно растворяются в воде, обеспечивая питание растений в течение длительного времени (не менее 2...3лет). Считается (Городний и др., 1990), что в 1 т биогумуса содержится в среднем 45 кг питательных элементов (NPK) и что нередко биогумус по своей питательной ценности превосходит органические удобрения.

В зависимости от размера гранул биогумус подразделяют на следующие виды.

Модер (гранулы размером 0,3...0,7 мм) — мягкая фракция биогумуса. Используют его для подкормки огородных, парниковых, тепличных и оранжерейных культур.

Мор (гранулы размером 0,7... 1 мм) — самая крупная фракция биогумуса. Предназначена для применения в растениеводстве, огородничестве и садоводстве. Вносят его при посеве в рядки, лунки, гнезда.

Муль (гранулы размером до 0,1 мм) — мельчайшая фракция биогумуса (или гумусовая мука). При внесении в почву сразу же растворяется и усваивается растениями. Используется для некорневых подкормок, «лечения» растений, перенесших стрессовое состояние при пересадках, а также для получения быстрого эффекта при выращивании растений.

Качество биогумуса принято оценивать в соответствии с международным стандартом, которым предусмотрены следующие требования:

Влажность, %	30...40
Органическое вещество, %	20...30
Водорастворимые соли, %	0,5
pH	6,5...7,5
Общий азот, %	Не менее 1,5
P ₂ O ₅	1,2...1,5
K ₂ O	1,1...1,2
C:N	15
Mg, %	1
Ca, %	4

Примечания: 1. Биогумус не должен содержать вещества, биологически не перерабаты-

ваемые (полимеры, камень, стекло); растения, способные размножаться. 2. Предельные параметры возбудителей патогенных заболеваний человека в биогумусе допускаются, экз. на 1 г: фекальный стрептококк — 10; колиформ — 10; сальмонелла не обнаруживается в 20 г.

Ценные свойства биогумуса при применении его благоприятно сказываются на формировании урожайности сельскохозяйственных культур, стимулируют улучшение качества получаемой продукции. Установлено, например, что благодаря биогумусу прибавка урожая зерновых составляет 30...40 %, картофеля — 30...70 и овощных — 35...70 %.

Примером повышения качества продукции под влиянием биогумуса может служить увеличение содержания витамина С (мг/100г) в фруктах и овощах (табл. 17.1).

17.1. Влияние биогумуса на содержание витамина С, мг/100 г, в различной сельскохозяйственной продукции по сравнению с применением навоза и минеральных удобрений (Фрюгвальд)

Культура	Биогумус	Навоз + минеральные удобрения
Картофель	48	15
Клубника	90	52
Перец	320	150
Фасоль	43	10
Яблоки	32	5

Фон «навоз + минеральные удобрения» явно уступает по всем культурам.

Целесообразные дозы внесения биогумуса заметно варьируют в зависимости от метеорологических условий года.

По «отзывчивости» на биогумус растения подразделяют:

на высокоотзывчивые, богатые углеводами; сюда относятся картофель, морковь, свекла (кормовая, сахарная и столовая), фрукты; применение биогумуса под эти культуры обеспечивает прибавку урожая до 35 % и более;

хорошо отзывчивые; в эту группу отнесены все зерновые культуры (озимая и яровая пшеница, рожь, ячмень, овес, рис, просо, гречиха, кукуруза на зерно, сорго); на биогумус они реагируют достаточно хорошо, и прибавка урожая составляет до 25 % и более;

среднеотзывчивые — бобовые культуры (горох, кормовые бобы, нут, соя, чечевица), а также донник, люцерна, тригонелла, эспарцет и др.; реакция на биогумус удовлетворительная, прирост урожая до 15 %;

слабоотзывчивые — масличные и эфиромасличные культуры (подсолнечник, рапс, горчица, кориандр и др.); реагируют на биогумус слабо. По этой группе требуются дополнительные исследования условий, доз, сроков и способов применения биогумуса, при которых его использование будет эффективным.

При переработке червями 1 т органических отходов в пересчете на сухое вещество получают 600 кг биогумуса, остальные 400 кг трансформируются в 100 кг полноценного белка в виде биомассы червей. Исходя из ежегодного объема производства органических удобрений в России (около 500 млн т), при условии его переработки может быть получено около 300 млн т биогумуса, в котором содержится более 11 млн т азота и калия и 20 млн т фосфора в пересчете на действующее вещество, что позволило бы получить около 100 млн т продукции растениеводства в пересчете на зерно и 2,5 млн т высококачественных белковых добавок.

В результате обобщения и анализа накопленных материалов были сформулированы основные агроэкологические свойства биогумуса:

биогумус превосходит традиционные органические удобрения по действию на рост, развитие и урожайность различных сельскохозяйственных культур;

элементы питания в биогумусе находятся в органической форме, что надежно предотвращает их вымывание и способствует пролонгированному действию;

доступность элементов питания в биогумусе значительно больше, что обусловлено содержанием большинства необходимых для растений элементов в хорошо усвояемой форме;

оптимальная реакция среды, формируемая наличием биогумуса, создает, в свою очередь, более благоприятную среду для развития растений;

биогумус характеризуется высокой буферностью, поэтому не создается избыточная концентрация солей в почвенном растворе, что обычно происходит при внесении высоких доз минеральных удобрений;

богатство полезной микрофлоры в биогумусе существенно увеличивает его питательное и фитосанитарное значение для высших растений;

отсутствие семян сорной растительности минимизирует в последующем необходимость механической или химической борьбы с сорняками;

содержание в биогумусе биологически активных веществ (ауксинов, гетероауксинов и др.) уменьшает стрессовое состояние растений, особенно рассады, увеличивает приживаемость, ускоряет прорастание семян, повышает устойчивость растений к заболеваниям и т. д.

Перспективы применения биогумуса как удобрения пролонгированного действия для производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции. Способность дождевых червей изменять поведение токсикантов в системе «почва — растения» или снижать вовлечение в биологический круговорот веществ в концентрациях, представляющих опасность для живых организмов, позволяет получать с помощью биогумуса экологически безопасную сельскохозяйственную продукцию. Так, даже при наличии тяжелых металлов в биогумусе они содержатся в виде комплексных соединений хелатного типа, что делает их малодоступными растениям.

Установлена также возможность червей и биогумуса связывать радионуклиды, находящиеся в почве и органических удобрениях, резко уменьшать поступление тяжелых металлов в растения.

По данным Уральского НИИ сельского хозяйства, в опытах с картофелем содержание радионуклидов в клубнях уменьшалось в 5...9 раз при внесении 6 т/га биогумуса.

Выявлено положительное влияние биогумуса на уменьшение содержания нитратов в сельскохозяйственной продукции и улучшение ее пищевой ценности при одновременном увеличении урожайности. Например, включение в состав тепличного грунта 20 % биогумуса (фракция < 3 мм) способствовало приросту урожайности (огурцы, томаты) от 10 до 30 %. При этом содержание витамина С повысилось на 8...23 %, а содержание нитратов снизилось на 19...60 %. Аналогичная ситуация прослеживалась и при выращивании кукурузы.

Возможности использования вермикультуры в животноводстве и медицине в качестве продуктов питания. Наряду с производством биогумуса вермикульту-

ра, как свидетельствуют отечественные и зарубежные исследования, перспективна для более разностороннего использования в хозяйственных целях. Предпосылкой тому могут служить высокая питательная ценность биомассы, содержание некоторых веществ, препятствующих возникновению и развитию ряда заболеваний, и пр.

Рассматривая возможности использования вермикюльтуры в животноводстве, целесообразно принимать во внимание, что 1 т органической пищи, как уже было сказано, при переработке ее червями дает кроме 600 кг гумусового удобрения 100 кг биомассы червей. Сухое вещество тканей червей составляет 17...23 %. Содержание протеина (сырого) достигает 60%, липидов — 6...9, азотных экстрактивных веществ — 1...16 %. Из тела червей после соответствующей обработки получают белковую муку, которая по аминокислотному составу приближается к мясной, превосходя ее по содержанию всех незаменимых аминокислот (за исключением глицина).

Добавление биомассы червей в рацион сельскохозяйственных животных и птицы способствует увеличению выхода продукции и улучшению ее качества. Так, яйценоскость кур увеличивалась примерно на 20 % при добавлении 1 % биомассы червей в рацион в течение 104 дней. Одновременно повышалось содержание протеина.

Удой молока возрастал на 22 % при использовании в пищевом рационе коров 0,5 кг свежей биомассы червей.

Особенно необходимо обратить внимание на высокое содержание в биомассе червей протеина, которое колеблется от 68 до 82 %. Некоторые исследователи считают, что в природе нет равноценного аналога для интенсивного воспроизводства промышленным способом полноценного белка.

Небезынтересны возможности применения вермикюльтуры в медицине, фармакологии, косметической промышленности. Различные типы экстрактов червей используют как медицинские препараты, в качестве защитной косметики для кожи и др. Так, на основе экстракта из вермикюльтуры разработана мазь, которая эффективна при лечении лишая, экземы, варикозной язвы

нижних конечностей. Получены препараты, применяемые при глазных заболеваниях и т. д.

В китайской медицине земляных червей используют около 2 тысячелетий. И уже в последнее время здесь с помощью современных методов и технологий изготовлены антивирусная и антиопухолевая сыворотки.

Считается, что по содержанию белка вермикюльтура значительно превосходит мясо животных и рыб, соевые бобы, зерно, сухое молоко и сравнима лишь с таковым у синезеленой водоросли спирулины, эффективно используемой в качестве пищевой добавки.

Перспективы создания замкнутых циклов производства в сельском хозяйстве на основе использования червей. Универсальные свойства дождевых червей позволяют, как свидетельствуют отечественные и зарубежные исследования, использовать их для разработки и внедрения безотходных технологических процессов. Одним из таких направлений, получившим наибольшую апробацию, является анаэробная переработка органических отходов, прежде всего отходов животноводческих комплексов и ферм.

При переработке различных отходов в анаэробных условиях выделяется значительное количество газа, который может быть использован для обеспечения работы котелов, обогрева теплиц и пр.

Сброженный навоз, как свидетельствуют анализы, является высокоэффективным удобрением. Например, после сбраживания навоза на ферме «Котово» (совхоз «Истринский», Московская обл.) азот в доступную форму переходит на 100%, фосфор — на 70, калий — на 80 %; погибают патогенные микроорганизмы и яйца гельминтов, семена сорных растений, а соли тяжелых металлов переходят в менее доступную форму. Технология анаэробной переработки навоза в опытной биоэнергетической установке показана на рисунке 17.1.

Использование вермикюльтуры получает все большее применение в ряде стран. Например, во Франции работает объединение «Вермикомпост», где на площади 15...16 га с помощью червей перерабатывается до 150 т различных органических отходов в сутки.



Рис. 17.1. Классический метод получения биогаза

Основные принципы и приемы промышленного разведения червей. При промышленном разведении червей целесообразно различать два направления. В первом имеется в виду разведение червей с целью получения биогумуса, во втором — их воспроизводство, так называемое маточное разведение.

Для успешного решения этих задач необходимо соблюдать комплекс требований и осуществлять ряд операций. Разводить червей можно как в открыто, так и в защищенном месте. Из множества видов червей для разведения лучше использовать красный гибрид (коммерческое название «калифорнийский»).

Вообще же в интенсивной любрикультуре широко используют три вида: *Eisenia foetida*, *Lombricus rubellus* и красный гибрид.

Основным технологическим средством при выращивании червей является ложе, представляющее собой гряду из органической питательной массы (субстрата) длиной 2 м, шириной 1 м и высотой 0,4...0,6 м. Площадь одного ложа 2 м². На одно ложе в год требуется 1,0...1,2 т органической массы. Оптимальным считают вермихозйство, которое состоит из 1200 лож, занимающих полезную площадь не менее 1 га земли.

Оптимальная плотность заселения червями одного ложа 50...100 тыс. взрослых и молодых червей, а также коконов с яйцами. Установлено, что от плотности заселения ложа во многом зависит производительность вермикультуры. Если плотность избыточна, то повышается возбудимость червей и

возникает стресс, вызванный перенаселением, что отрицательно сказывается на их размножении. При низкой плотности продуктивность червей и выход биогумуса также уменьшаются. Для разведения маточных червей используют стандартные ложа. При этом плотность может составлять от 1,5...2,0 до 10...12 тыс. экземпляров на 1 м².

При определении оптимальной плотности заселения субстрата следует исходить из конечной цели. Нужно определить, будет ли вермихозйство заниматься разведением червей или производством биогумуса либо тем и другим одновременно. Зная число лож, примерное число червей в них, средний состав в популяции по возрастным группам (ориентировочно молодые особи — 60,1%, взрослые — 21,8 и коконы — 19,1%), можно в каждом конкретном случае рассчитать массу требуемого корма (или подкормки).

Подкармливают червей органическим веществом (субстратом), включающим бытовые и другие отходы, ил, навоз, сточные воды и т. д., в которые для создания рыхлой структуры добавляют в различной пропорции твердые органические компоненты — наполнители. Ими могут быть кора деревьев, листья (кроме свежей хвои) и др. В расчете примерно на 100 тыс. червей количество субстрата составляет около 1000 кг/год.

Субстрат имеет для червей двойное значение: во-первых, он служит им средой обитания; во-вторых, это пища, благодаря которой обеспечивается определенный уровень их жизнедеятельности. Не случайно к структуре субстрата и его химическим параметрам предъявляют особые требования: влажность должна быть 70...80%; наличие неподвергающихся разложению предметов (камни, металл, стекло и пр.) исключается, необходима нейтральная реакция среды (оптимальная 6,8...7,2), оксидов железа должно содержаться не более 10%.

Агроэкологические требования к питательному субстрату. Питательный субстрат должен иметь полужидкую консистенцию и быть хорошо измельченным, так как самые крупные частицы, которые калифорнийский червь способен проглотить, имеют размер до 1 мм. Счи-

тается, что червь поедает пищу в количестве, равной массе своего тела (около 1 г); 40 % пищи усваивается, а 60 % выделяется в виде копролитов.

Количество корма, естественно, определяется его природой.

Качество субстрата повышается при добавлении отходов бахчевых и плодово-овощных культур в сочетании с 10 % известковых отходов (дефекат, известь, мел, мергель, сланцевая зола и др.).

Основное условие пригодности субстрата — его однородность и хорошая аэрация, а также отношение C:N. При готовности субстрата отношение C:N = 20. Независимо от того, какое органическое вещество предполагается использовать, оно должно содержать не менее 20...25 % целлюлозы в виде соломенной сечки, бумаги, картона и пр. (Городний и др., 1990).

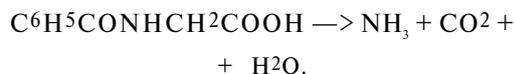
Следует учитывать и наличие в субстрате протеина, содержание которого более 45 % опасно для червей и может привести к летальному исходу. Корм, предназначенный червям, должен содержать не более 25...30 % этого вещества.

Ферментация субстрата. Подготовленный субстрат проходит стадию ферментации, во время которой погибают яйца и личинки гельминтов, а также семена сорной растительности.

Ферментацию можно проводить как в естественном, так и в ускоренном режиме. При естественном режиме процесс протекает 6...7 мес в зависимости от вида органических отходов. В условиях ускоренного режима эти сроки сокращаются до 1...3 мес. Для ускорения ферментации органические отходы укладывают в бурты, в которые затем нагнетают по трубам горячий пар температурой 50...60 °С. Субстрат, лишенный возможности саморазогреваться, растаивают слоем толщиной 20...30 см и шириной 1,0...1,5 м, увлажняют до 70...80 % полной смачиваемости. Далее выстаивают 10...15 сут. После этого заселяют червями в количестве 1,5...2,5 тыс. особей на 1 м². Для сохранения влажности субстрата его накрывают резаной соломой или мешковиной.

В процессе ферментации происходят химические реакции, в результате которых мочева и гиппуровая кислоты, содержащиеся в навозе, разлагаются, пере-

ходя в углекислый аммоний, который распадается на аммиак, диоксид углерода и воду:



Итоговым результатом пригодности базового субстрата является «проба 50 червей». Если при заселении субстрата (взятого в небольшом количестве) 50 червями при дневном или сильном искусственном освещении они сразу же уходят в глубь органического материала и находятся там в течение суток, то субстрат готов для зачервления. Если черви выползают, то субстрат непригоден для вермикультивирования и требует проверки. Скорость разложения субстрата под действием червей в 2...3 раза больше, чем скорость созревания навоза.

Выращивание вермикультуры зимой. Зимой червей желательнее содержать в закрытом отапливаемом помещении при температуре не ниже 10 °С. При температуре 7 °С черви начинают впадать в состояние анабиоза. Наиболее подходящим корм в зимнее время — навоз с содержанием не менее 20 % соломы.

Приготовление вермикомпоста на приусадебных и дачных участках. Метод вермикультивирования с успехом можно применять для переработки отходов (растительные остатки, ветви и пр.) на индивидуальных земельных участках.

Для этого отходы собирают в кучу, увлажняют и оставляют перегнивать. Через 1...1,5 мес, когда закончится процесс разогревания, накопленную массу заселяют червями (из расчета около 1 тыс. экз. на 1 м²). Спустя 3...4 мес (в зависимости от качества субстрата и складывающихся условий) компост готов.

Для отделения червей от компоста используют достаточно простой способ. Рядом с вермикомпостной кучей из свежих отходов устраивают новую, куда черви переползают в поисках пищи.

Можно использовать также металлическое сито с отверстиями ячеек около 2 мм, через которое почву просеивают, а черви остаются на сите.

За два-три таких приема можно выбрать из ложа около 97 % популяции. Оставшиеся 3 % целесообразно сохранить в полученной органической массе.

Вредители дождевых червей. Дождевой червь не имеет никаких органов защиты, поэтому может подвергаться нападению любых животных: крыс, мышей, змей, жаб, птиц. Особенно опасны кроты. Поэтому при разведении червей следует использовать различные ограждения, например сетку (металлическую), которая предохранит от попадания внутрь ложа названных врагов. Сетку устанавливают по бокам ложа или других мест, в которых выращивают люмбрицид.

Определенную угрозу представляют также мокрицы, моль, муравьи, так как питаются главным образом жирами и сахарами, содержащимися в корме, и таким образом составляют конкуренцию червям.

Среди паразитов дождевых червей отмечают муху, особенно *Polenia rudis*. Еще один опасный вредитель червей — нематоды.

Таким образом, вермикультивирование следует рассматривать как перспективное направление, позволяющее формировать и развивать экологические основы сельскохозяйственного производства посредством рационального использования природных возможностей, базирующегося на значительной активизации деятельности живых организмов, на управлении этой деятельностью. Использование в качестве удобрения продукта переработки отходов производства при помощи вермикультуры существенно уменьшает затраты на обогащение питательными веществами земель сельскохозяйственного назначения. При этом повышаются предпосылки получения экологически безопасной продукции. И что крайне важно: создаются условия для утилизации (с большой пользой) значительных объемов органических отходов.

Глава 18

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ. НАУЧНЫЕ, МЕТОДИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ЕГО ПРОВЕДЕНИЯ



18.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И СХЕМА МОНИТОРИНГА

Информация о состоянии окружающей природной среды (ОПС) и ее элементов, об их пространственно-временных изменениях используется человеком с незапамятных времен. Достаточно вспомнить о регулярных метеорологических, гидрологических, фенологических и некоторых других наблюдениях. Следует, разумеется, иметь в виду, что эти наблюдения регистрировали естественные (природные) изменения состояния тех или иных компонентов.

Начавшийся в 50-х годах процесс явного обострения проблем взаимодействия общества и природы и сопутствующие ему негативные изменения и последствия, очевидная ущербность бесконтрольной эксплуатации ресурсов биосферы обусловили необходимость поиска и выработки соответствующих

комплексных решений. Так, еще в 1970 г. ЮНЕСКО была принята Международная научно-исследовательская программа «Человек и биосфера» (МАБ — Man and biosphere), цель которой — организация в разных регионах мира комплексных многолетних наблюдений за последствиями воздействия человека на естественные процессы в биосфере и изучение обратного влияния этих процессов на самого человека. Выполняют эту программу почти 90 стран, в том числе и Россия. Потребовалось не только расширить спектр наблюдений, но и сформировать на их основе элементы активных действий и управления, адекватных возникающим природоохранным ситуациям. Сложилась в основном целостная система, функционально объединяющая наблюдения, информацию, действия. Она получила название «мониторинг».

Термин «мониторинг» (от лат.

monitor — напоминающий, надзирающий) вошел в обиход специалистов, работающих в области охраны окружающей природной среды, относительно недавно (в начале 70-х годов). Этот термин применительно к экологии впервые употребили в рекомендациях Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (1972).

Россия (ранее СССР) — участник Программы международного комитета ученых по окружающей среде (СКОПЕ), а также Программы ЮНЕП, посвященной наиболее острым экологическим проблемам, которая предполагает организацию Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС). Основная ее задача — раннее предупреждение наступающих естественных или антропогенных изменений состояния ОПС, которые могут причинить вред человеку.

Исходя из сложившихся к настоящему времени представлений, можно дать следующее расширенное толкование понятия «мониторинг».

Мониторинг — система наблюдений и контроля за состоянием окружающей человека природной среды с целью разработки мероприятий по ее охране, рациональному использованию природных ресурсов и предупреждению критических ситуаций, вредных или опасных для здоровья людей, живых организмов и их сообществ, природных комплексов и объектов. Помимо наблюдения задачами мониторинга являются также оценка состояния среды и прогнозирование ее изменений. Различают мониторинг биосферный (глобальный), региональный, локальный (импактный), экологический, биологический, санитарно-токсикологический, международный, национальный, базовый (фоновый), непосредственный и дистанционный (в том числе авиационный и космический) и др. Первоочередное внимание в мониторинге уделяют наблюдению за антропогенными изменениями в природе.

Основные этапы эволюции понимания специалистами функций мониторинга определялись последовательностью стадий развития общей концепции разрешения экологических проблем. Каждый из вариантов такой концепции обогатил содержательность мониторин-

га «своими» задачами и направлениями.

В этом отношении нельзя не отметить значение концепции устойчивого развития, основы которой заложены на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (июнь 1992 г., Рио-де-Жанейро), для обеспечения более результативного использования материалов наблюдений и последующего формирования текущих и долгосрочных целей и задач управления, а также совершенствования самой структуры системы мониторинга.

Естественные изменения состояния ОПС (как кратковременные, так и долгосрочные) в достаточном объеме регистрируют и изучают функционирующие во многих странах геофизические службы (гидрометеорологическая, сейсмическая, ионосферная, гравиметрическая, магнитометрическая и др.). Специальные же наблюдения за состоянием биосферы направлены на то, чтобы на фоне природных флуктуации выделить происходящие в ней изменения в результате антропогенной деятельности.

По сути, мониторинг — это система повторных наблюдений одного или нескольких элементов ОПС в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее заданной программой. Выражаясь точнее, такую систему следует называть «мониторингом антропогенных изменений ОПС». Очевидно, что термин «мониторинг» не является неким новым обозначением уже сложившегося наблюдательного комплекса геофизических служб. Он соответствует качественно иной системе обнаружения антропогенных эффектов в ОПС. При этом, разумеется, не исключено использование некоторых структурных элементов и информации существующих геофизических служб.

Всестороннее обсуждение основных задач мониторинга и возможных путей их реализации состоялось на международных симпозиумах по комплексному глобальному мониторингу загрязнения ОПС в 1978 г. (Рига) и в 1981 г. (Тбилиси).

Академик Ю. А. Израэль, внесший весомый вклад в разработку теории и практики мониторинга, предложил универсальную схему информационной системы контроля состояния природной среды (рис. 18.1), пригодную для

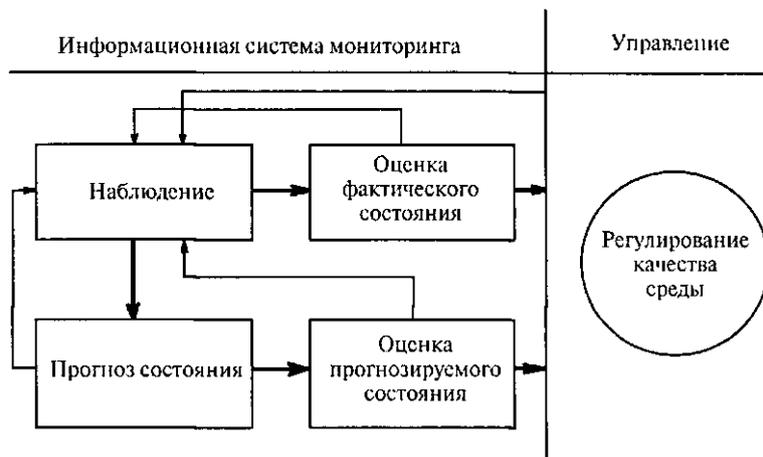


Рис. 18.1. Блок-схема системы мониторинга

различных уровней, направлений и масштабов оперативной и исследовательской работы (Израэль, 1979).

Блоки, составляющие схему, взаимосвязаны между собой (существуют обратные и прямые связи).

Например, блоки «Наблюдение» и «Прогноз состояния» имеют прямую связь, так как прогноз состояния ОПС возможен лишь при наличии достаточно репрезентативной информации о фактическом состоянии.

Разработка прогноза, с одной стороны, предполагает знание закономерностей изменений состояния природной среды, наличие схемы и возможностей расчета, а с другой стороны — необходимая направленность прогноза в значительной степени должна определять структуру и состав наблюдательной сети (обратная связь).

Полученную в результате наблюдений или прогноза информацию оценивают в зависимости от того, в какой сфере деятельности она используется.

Оценка предусматривает определение ущерба от воздействия, выбор оптимальных условий для человеческой деятельности, выявление существующих «экологических резервов». При этом учитывают допустимые нагрузки на окружающую среду.

Информационная система мониторинга антропогенных изменений является частью системы управления взаимодействием человека с ОПС, поскольку информация о реально складываю-

щемся состоянии окружающей природной среды и тенденциях его изменения должна служить основой для разработки мер по охране природы и учитываться при планировании развития экосистемы. Сравнение фактического и прогнозируемого состояния, уточняют требования к подсистеме наблюдений и оценивают фактическое положение. В конечном итоге появляется возможность осуществлять целенаправленные и грамотные мероприятия по регулированию качества среды и предотвращению неблагоприятных последствий антропогенных воздействий.

Для объективной оценки, анализа и прогноза экологической ситуации в любых масштабах ее проявления необходимо знание геофизических процессов, различных антропогенных эффектов и вызывающих их ситуаций.

Антропогенные факторы, влияющие на состояние биосферы, на здоровье населения, обширны (загрязнение различными химическими веществами, выбросы и сбросы отходов производства, физическое и биологическое воздействие, нагрев биосферы и т. п.). Наблюдения можно осуществлять по физическим, химическим и биологическим показателям. Наиболее перспективны интегральные показатели состояния природных систем.

Система мониторинга способствует выявлению критических ситуаций, позволяет выделить критические факторы воздействия и наиболее подверженные

антропогенному влиянию элементы биосферы.

Основные факторы, элементы и процессы, требующие тщательного наблюдения и исследования, приведены в таблице 18.1.

18.1. Классификация состояний природной среды и здоровья населения, реакций природных систем, источников и факторов воздействия, охватываемых системой мониторинга (Израэль, 1984)

Раздел наблюдений	Название раздела наблюдений	Классификация
А	Источники и факторы воздействия	А. 1. Локальные источники загрязнений А. 2. Факторы воздействия (загрязняющие вещества, излучение и т. д.)
Б	Состояние окружающей природной среды	Б. 1. Состояние среды, характеризующее физическими и физико-географическими данными Б. 2. Состояние среды, характеризующее геохимическими данными, данными о составе и характере загрязнений
В	Состояние биотической составляющей биосферы	В. 1. Реакция биоты — отклики и последствия: у отдельного организма; популяции; сообщества и экосистемы
Г	Реакция крупных систем и биосферы в целом	Г. 1. Реакция крупных систем (погода и климат) Г. 2. Реакция биосферы в целом
Д	Состояние здоровья и благосостояния населения	

Локальные источники загрязнений и факторы их воздействия выделены в раздел А. К ним относятся природные (извержение вулканов, самопроизвольный выход нефти, газов и т. д.) явления и антропогенные (выбросы промышленных и сельскохозяйственных предприятий, нарушение правил химизации сельского хозяйства, выбросы транспорта и т. д.) факторы.

В раздел Б (подраздел Б. 1) входят наблюдения по геофизическим данным, получаемым в результате последовательных или непрерывных измерений параметров состояния среды, а также наблюдения за стихийными природными явлениями (вулканизм, землетрясения, засухи, наводнения, сели, эрозия почв и др.). Такие наблюдения находятся в компетенции географических служб.

Важнейшую информацию о состоянии ОПС несут физико-географические данные, включая данные о распределении суши и воды, рельефе поверхности земного шара, природных ресурсах, народонаселении, урбанизации.

В этот же раздел включены наблюдения за состоянием ОПС (и его изменениями), характеризующим геохимическими данными (наблюдения за круговоротом веществ в природном комплексе, за составом инородных примесей в биосфере, в том числе радиоактивных веществ), различными специфическими физическими характеристиками среды, включая наблюдения за шумовыми и тепловыми загрязнениями, различными излучениями (ионизирующими и неионизирующими).

К разделу Б относятся также наблюдения за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почвы, донных отложений, растительного и животного мира и наблюдения за основными путями распространения загрязнений. Эти наблюдения чаще всего относят к первостепенным по важности в системе мониторинга.

Раздел В включает наблюдения за реакцией биоты (живой составляющей биосферы) на различные факторы воздействий и изменений состояния ОПС; к этим наблюдениям относят наблюдения за откликом (обратимые изменения) и последствиями (необратимые изменения) у биоты. Возможны наблюдения по функциональным и структурным биотическим признакам. К числу функциональных можно отнести, например, прирост биосферы в единицу времени, скорость поглощения различных веществ растениями и животными; к числу структурных — численность видов растений и животных, общую биомассу. Эти наблюдения должны быть организованы на различных уровнях отдельного организма и популяции, общества и экосистемы.

Раздел Г — наблюдения за реакцией среды крупных систем (погоды, климата) и биосферы в целом, включают всю систему наблюдений за состоянием климатической системы, перечисленных в предыдущих разделах и требующих специальных обобщений и оценок.

Раздел Д включает специальные исследования. Наблюдения, сформированные по определенной системе для реализации рассмотренных задач, в зависимости от целевой установки последних проводят по физическим, химическим и биологическим показателям. Система наблюдений может основываться на точечных измерениях (на станциях), включая дистанционные наблюдения, или на площадных съемках и получении интегральных показателей. Допустимо и целесообразно комбинированное использование этих подходов. Важное значение при организации мониторинга принадлежит авиационным и спутниковым средствам и методам. Рассматривая и анализируя результаты наблюдений, крайне важно выделить изменения состояния среды, реакцию биоты на эти изменения, обусловленные антропогенными воздействиями. Для этого необходима информация о первоначальном состоянии среды, т. е. о состоянии до существенного вмешательства человека. Ретроспективу в определенной степени можно воспроизвести по результатам длительных наблюдений, в этом случае полезным может оказаться анализ состава донных отложений, ледниковых слоев, древесных колец, относящихся к периоду, предшествующему началу заметного вмешательства человека (Израэль, 1984).

Исследование антропогенного влияния на биосферу требует определения современного глобального фонового ее состояния в местах, удаленных от источников локального воздействия (загрязнения), а также учета фактического фонового состояния в районах и регионах. Биосферный мониторинг, объединяя в единый комплекс наблюдения, оценку и прогноз состояния биосферы, вызванные антропогенными воздействиями, определение источников, факторов и степени этих воздействий, основывается на ряде последовательных действий. В том числе выделение (определение) объекта наблюдений; обследование выделенного объекта; составление информационной модели для объекта наблюдения; планирование измерений; оценка состояния объекта наблюдения и идентификации его информационной модели; прогнозирование

изменения состояния объекта наблюдения; представление информации в удобной для использования форме и доведения ее до потребителя.

В соответствии с задачами и процедурами мониторинга в первую очередь должна быть установлена приоритетность факторов, ведущих к наиболее серьезным изменениям ОПС (а также источники их формирования). Необходимо выявить и отдельные элементы тех или иных объектов наблюдения, наиболее подверженных воздействию (чувствительных), критические точки, переход через которые вызывает нарушения и разрушения экосистем. Выбор факторов и показателей воздействия является важнейшим этапом научного обоснования мониторинга.

Следует иметь в виду, что определение приоритетности для подсистем мониторинга при решении различных задач может привести к разным результатам для одного и того же фактора воздействия.

Например, с одной стороны, ущерб от CO_2 в атмосфере для какой-либо экосистемы незначителен, а во многих случаях увеличение CO_2 даже полезно (стимулирует повышение продуктивности растений). С другой стороны, при рассмотрении возможного влияния на крупные системы, например на климат планеты, накопление CO_2 ведет к усилению «парникового эффекта» и возможным изменениям климата с различными отрицательными последствиями для биосферы. Можно сослаться и на некоторые другие примеры выбора приоритетов при организации мониторинга. Если говорить о средах, то высший приоритет должен быть отдан атмосферному воздуху и воде пресноводных водоемов; по ингредиентам — пыли, SO_2 , $NxOy$, бенз(а)пирену в воздухе, биогенным продуктам, нефтепродуктам, фенолам в воде; по источникам загрязнения (в городах) — автомобильному транспорту, тепловым электростанциям и т. д.

Небезынтересен метод установления приоритетности для мониторинга загрязнений, применявшийся на Первом межправительственном совещании по мониторингу в Найроби (Кения, 1974). Первоначально, основываясь на свойствах загрязнителей и возможности

организации измерений, были выбраны некоторые критерии для определения приоритетности.

В частности, учитывали:

1. Фактический и потенциально возможный эффект на здоровье и благополучие человека, на климат или экосистемы.

2. Склонность к деградации в ОПС и накоплению в организме человека.

3. Возможность химической трансформации в физических и биологических системах, в результате чего вторичные вещества могут оказаться более токсичными.

4. Мобильность, подвижность.

5. Фактические или возможные тренды (тенденции) концентрации в ОПС и (или) в человеке.

6. Частота и (или) величина воздействия.

7. Возможность измерений на данном уровне в различных средах.

8. Значение для оценки положения в ОПС.

9. Пригодность с точки зрения всеобщего распространения для равномерных измерений в глобальной и субрегиональной программах.

Загрязнения оценивали в баллах (от 0 до 3) по каждому из принятых критериев. Суммируя баллы, определили приоритетные позиции (чем больше сумма, тем выше приоритет). Полученные таким образом приоритеты были разделены на восемь классов (чем выше класс, тем меньше его порядковый номер и больше приоритет) с указанием среды и типа программы измерений (импактный, региональный, глобальный). При этом были определены те виды измерений, которые необходимо проводить, если загрязняющее вещество непосредственно трудно измерить (косвенный мониторинг). В таких случаях учитывали (оценивали) следующие характеристики: индикаторы качества воды — коли-бактерии, БПК⁵, ХПК, синезеленые водоросли, их первичную продуктивность; индикаторы качества почвы — соленость, кислотность и щелочность (рН), содержание нитратов и органического азота, содержание почвенных органических веществ (гумусированность); индикаторы здоровья человека и животных, индикаторы пора-

жения растений — заболевания, генетические последствия, чувствительность к лекарствам; растительные индикаторы загрязнения — биоиндикация.

Одновременно рекомендованы сопутствующие выборочные наблюдения за метеорологическими, гидрологическими и другими геофизическими параметрами, которые позволяют лучше осмыслить результаты основных измерений.

В целом же надо иметь в виду, что пока еще не сложилась законченная целостная схема многоцелевого мониторинга антропогенных изменений ОПС. Сформировавшиеся подсистемы (блоки) мониторинга, будучи органичной частью его, дают возможность вполне корректно решать отдельные конкретные задачи в ограниченных, разумеется, по смысловой направленности масштабах.

Для объективного изучения последствий антропогенных воздействий мониторинг дифференцируется в соответствии с существующей классификацией загрязнений (ингредиентное, параметрическое, биоценотическое, стационально-деструкционное).

Такой подход в принципе получил отражение в концепции Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС), разрабатываемой по линии ЮНЕП.

Универсальная система мониторинга обеспечивает возможность решения поставленных экологических задач и достижения заданных природоохранных целей. Точкой же отсчета, как уже отмечалось, является фоновое состояние биосферы на протяжении возможно длительного временного интервала, которое углубленно изучают в ряде стран, в том числе и в России, на специальной сети биосферных заповедников.

В Российской Федерации (ранее в СССР) служба наблюдений и контроля за загрязнением окружающей природной среды формировалась в основном на базе хорошо развитой гидрометеорологической наблюдательной сети станций, традиционно обеспечивая получение высококачественных первичных материалов. К сожалению, экономические проблемы России повлияли на деятельность гидрометеорологической службы со всеми вытекающими отрицательными последствиями для осуществления мониторинга.

По мнению Израэля (1984), в зависимости от природы изучаемых сред достаточно правомерно выделять абиотический (геофизический) и биотический (биологический) сектора мониторинга. Геофизический мониторинг направлен на определение реакции абиотической составляющей как в микро-, так и в макромасштабе (вплоть до определения реакции и состояния крупных сред, например, погоды и климата). Сюда же относятся данные о загрязнении атмосферы, гидрологические и почвенно-геохимические характеристики сред.

Основная задача биологического мониторинга — определение состояния биотической составляющей биосферы, ее отклика (реакции) на антропогенные воздействия, определение функции состояния и отклонение этой функции от нормального естественного состояния на молекулярном, клеточном, организменном и популяционном уровнях, а также на уровне сообществ. В этом секторе мониторинга целесообразны наблюдения за состоянием здоровья человека, за важнейшими популяциями, за наиболее чувствительными к данному виду воздействия популяциями, за популяциями-индикаторами, за состоянием биоты в целом. Особое место занимает генетический мониторинг.

Поэтому логично вести речь об экологическом мониторинге как более универсальной системе, объединяющей на качественно ином (более высоком) уровне элементы геофизического и биологического блоков, обеспечивающей лучшее понимание их взаимосвязи и взаимодействия.

Видный отечественный географ академик И. П. Герасимов предложил подразделять мониторинг на три ступени (этапа): биоэкологический (санитарно-гигиенический); геоэкологический (геосистемный, природно-хозяйственный) и биосферный.

Главное в биоэкологическом мониторинге — выявить отклик биосферы на антропогенные воздействия на разных уровнях организации живого. Учитывая, что одна из основных целевых установок мониторинга — защита интересов человека (человечества), на этой ступени очень важны наблюдения за состоянием человеческой популяции.

Важное значение отводят также наблюдениям за жизнедеятельностью легкокоранимых популяций-индикаторов (например, лишайники).

Особое место на этом этапе занимает генетический мониторинг — наблюдения за возможными изменениями наследственных признаков у различных популяций. При этом комплекс мероприятий по генетическому мониторингу популяций должен сочетаться со скринингом химических соединений на мутагенную активность.

Среди задач этого этапа особо следует выделить мониторинг генофонда самого человека. Представляется перспективной организация на основе международного сотрудничества глобальной генетической службы слежения за динамикой «генетического груза» в популяциях человека. Ее целесообразно дополнять мониторингом генофондов обитающих на Земле других видов животных, в первую очередь млекопитающих.

Геоэкологический мониторинг согласно И. П. Герасимову позволяет отслеживать изменения геосистем (в том числе природных экосистем), а также последствия преобразования их в природно-технические (агроэкосистемы, среду промышленных районов, городскую среду и т. д.) системы. Геоэкологический мониторинг существенно дополняет биоэкологический, углубляя содержание последнего. В частности, предоставляется возможность предусмотреть стихийное изменение окружающей среды и возникновение явлений, ухудшающих жизненную среду обитания человека и биоты в целом. Расширяются также границы биоэкологического мониторинга, поскольку исследуют естественные ресурсы, используемые человеком в его хозяйственной деятельности.

Эти виды мониторинга различаются и методами исследования. Так, биоэкологический мониторинг носит преимущественно локальный характер, основывается на систематическом слежении за определенными параметрами (индикаторами) состояния ОПС (геофизическими, биохимическими и биологическими), имеющими биологическое значение. Наблюдения ведут на сети контрольных пунктов. Геоэкологический

мониторинг базируется на применении геофизических и биогеохимических методов — предельно допустимые концентрации (ПДК), естественная способность природной среды к самоочищению, биологическая продуктивность экосистем. Для наблюдений используют как контрольные пункты, входящие в общую сеть мониторинга, так и особые ключевые (тестовые) площади. Этот этап мониторинга имеет региональную направленность.

Считается целесообразным проводить геоэкологический мониторинг на специальных полигонах, организуемых в каждой природной зоне или крупном природно-хозяйственном регионе и дифференцируемых по объектам и содержанию наблюдений. В частности, подлежат изучению трофические связи (биологические круговороты), биологическая продуктивность, показатели ПДК, эффективность функционирования природных систем и использования их ресурсов, действенность методов управления процессами использования природных условий и ресурсов с точки зрения сохранения и улучшения окружающей среды.

Биосферный мониторинг включает наблюдения за параметрами биосферы в глобальном масштабе и замыкает систему слежения за окружающей средой. Содержательная часть этой ступени (этапа) предусматривает наблюдения за основными параметрами современной биосферы, достоверную регистрацию их периодических (естественных) или направленных (антропогенных) изменений (оценка и прогноз). Ключевыми проблемами здесь являются: глобальный круговорот влаги и его антропогенные изменения, антропогенные преобразования глобальных круговоротов важнейших химических элементов с обязательным включением в объект наблюдения почвенного покрова (почвенно-химический мониторинг), наблюдения за загрязнением Мирового океана.

Концептуальное видение мониторинга, предложенное академиком И. П. Герасимовым, и в научном, и в практическом отношении достаточно значимо для понимания процессов, происходящих в системе «общество — природа», для поиска конструктивных решений в этой области жизнеобеспечения.

Говоря о мониторинге, нельзя умолчать о возможности классификации его систем и подсистем по факторам и источникам воздействия. Целесообразной может быть и классификация по масштабам воздействия (пространственным, временным, на различных биологических уровнях). При таком подходе можно выделить наблюдения, относящиеся к точке, небольшим площадям, районам, регионам; наблюдения в глобальном масштабе — обработанные, осредненные или обобщенные по определенной системе (схеме). Сюда же следует отнести и определение количества вещества, числа объектов воздействия в той или иной части пространства.

Несомненный интерес представляет классификация возможных систем (подсистем) мониторинга (Израэль,

Принцип классификации	Существующие или разрабатываемые системы (подсистемы) мониторинга
Универсальные системы	Глобальный мониторинг (базовый, региональный, импактный уровни), включая фоновый и палеомониторинг. Национальный мониторинг (например, в б. СССР). Общегосударственная служба наблюдений и контроля за уровнем загрязнения внешней среды. Международный, «международный» мониторинг (например, мониторинг трансграничного переноса загрязняющих веществ)
Реакция основных составляющих биосферы	Геофизический мониторинг. Биологический мониторинг, включая генетический. Экологический мониторинг (включающий вышеназванные)
Различные среды	Мониторинг антропогенных изменений (включая загрязнение и реакцию на него) в атмосфере, гидросфере, почве, криосфере, биоте
Факторы и источники воздействия	Мониторинг источников загрязнений. Ингредиентный мониторинг (например, отдельных загрязняющих веществ, радиоактивных излучений, шумов и т. д.)
Острота и глобальность проблемы	Мониторинг: океана; озоносферы
Методы наблюдений	Мониторинг по физическим, химическим и биологическим показателям. Спутниковый мониторинг (дистанционные методы)
Системный подход	Медико-биологический мониторинг (состояния здоровья). Экологический мониторинг. Климатический мониторинг. Вариант: биоэкологический (в том числе агроэкологический), геоэкологический, биосферный мониторинг

1984), приведенная далее, которая позволяет последовательно и целенаправленно формировать и осуществлять принципы экологической безопасности.

Однако нынешняя организация и управление природоохранной деятельностью, обусловленные фактической индифферентностью государства по отношению к экологическим проблемам, устойчивый кризис экономики страны вряд ли смогут благоприятствовать в обозримой перспективе системной реализации целей и задач мониторинга. Невостребованность научных разработок, в том числе и в области экологии, не востребоанность творческого потенциала специалистов и квалифицированных рабочих — опасные болезни сегодняшней России...

18.2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Экологический мониторинг, как отмечалось ранее, является комплексной подсистемой мониторинга биосферы. Он включает системы повторных наблюдений, оценку и прогноз антропогенных изменений ОПС, что позволяет сравнительно устойчиво контролировать экологические условия среды обитания человека и других биологических объектов, а также функциональное состояние экосистем. Кроме того, создаются предпосылки для соответствующих корректирующих действий, если целевые показатели экологических условий нарушаются.

Комплексность и взаимозависимость процессов, происходящих в ОПС, чрезвычайность проблем, стоящих перед человечеством на пути обеспечения экологически безопасного экономического развития, объективно диктуют необходимость совершенствовать основные контрольно-наблюдательные функции в подсистемах экологического мониторинга.

В государственной системе управления природоохранной деятельностью Российской Федерации важное значение имеет формирование Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ), которая включает следующие подсистемы.

1. Мониторинг источников антропо-

генного воздействия на ОПС и оценка экологического равновесия в экосистемах.

2. Мониторинг загрязнения абиотической составляющей ОПС и оценка состояния его информационной модели.

3. Мониторинг биотической компоненты ОПС с оценкой критических проблем, возникающих в результате сельскохозяйственной деятельности и землепользования, а также реакции наземных экосистем на воздействие ОПС (агроэкологический мониторинг).

4. Социально-гигиенический мониторинг с объективной оценкой состояния и факторов формирования экологической ситуации, состояния здоровья населения, деятельности объектов, загрязняющих ОПС, и т. п.

5. Обеспечение создания и функционирования экологических информационных систем, необходимых для развития названных выше функций экологического мониторинга.

6. Социально-психологические информационные мероприятия, охватывающие область экологического образования, просвещения и воспитания, пропаганды и рекламы.

Комплексность экологических проблем, их многоплановость, тесная связь с отраслями экономики и объектами оборонного назначения, с обеспечением защиты здоровья и благополучия населения требуют единого системного подхода к решению насущных природоохранных проблем. В масштабах государства поиск и выбор необходимых решений связаны с известными трудностями, обусловленными участием в реализации ЕГСЭМ большого числа исполнителей, преследующих определенные ведомственные интересы. В связи с этим становление национальной системы экологического мониторинга тесно связано с формированием подсистем мониторинга на локальном и региональном уровнях. Помимо того, ЕГСЭМ блокируется с подсистемами глобального и фонового мониторинга.

Целью единого экологического мониторинга (ЕЭМ) являются разработка и использование систем, средств и методов наблюдения, оценки и выработки рекомендаций и управляющего воздействия в природно-техногенной сфере,

Ведомственная система	Основные направления ведения мониторинга
Министерство обороны	Мониторинг ОПС и источников воздействия на нее военных объектов. Обеспечение ЕГСЭМ техническими средствами и системами
Министерство природных ресурсов	Мониторинг водной среды водохозяйственных систем и сооружений в местах водозабора и сброса сточных вод. Мониторинг геологической среды (недра, подземные воды, опасные эндогенные и экзогенные геологические процессы)
Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ	Мониторинг загрязнения почв нитратами, пестицидами и тяжелыми металлами в агропромышленном комплексе. Осуществляется с 1990 г. на 300 постоянных реперных участках
Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор)	Мониторинг воздействия среды обитания на здоровье населения
Государственный комитет РФ по делам Севера (Госкомсевер)	Участие в развитии и обеспечении функционирования ЕГСЭМ в районах Крайнего Севера и Арктики
Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды (Госкомэкология)	Функциональные задачи по мониторингу рассмотрены далее
Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)	То же
Федеральный горный и промышленный надзор России (Росгортехнадзор)	Координирует развитие и функционирование подсистемы мониторинга геологической среды, связанной с добычей минерально-сырьевых ресурсов. Осуществляет надзор за соблюдением порядка пользования недрами при разработке месторождений полезных ископаемых и переработке минерального сырья. Согласовывает и контролирует потери полезных ископаемых при добыче и переработке, применяя санкции при сверхнормативных потерях. Ограничивает, приостанавливает или запрещает сброс в недра сточных вод, складирование вредных веществ и отходов производства и подземное их хранение. Надзирает за безопасностью горных работ
Федеральная служба геодезии и картографии (Роскартография)	Осуществляет топографо-геодезическое и картографическое обеспечение ЕГСЭМ, включая создание цифровых электронных карт и геоинформационных систем
Комитет РФ по земельным ресурсам и земельному устройству (Роскомзем)	Мониторинг земельных ресурсов (учет количества и качества земель и их экологическая оценка)
Комитет РФ по рыболовству (Роскомрыболовство)	Мониторинг рыбных ресурсов во всех рыбопромысловых бассейнах (особенно в местах, наиболее подверженных антропогенному воздействию)
Федеральная служба лесного хозяйства России (Рослесхоз)	Мониторинг лесов, обеспечивающий учет лесного фонда и охрану лесов от пожаров, санитарно-лесопатологический контроль, а также контроль за вырубкой и восстановлением лесов. (Наблюдается тревожная тенденция превращения Федеральной лесной службы в лесозаготовительную.)

включающей показатели состояния ОПС, прогнозы ее эволюции, энерго-экологические и технологические характеристики производственной сферы, методико-биологические и санитарно-гигиенические условия существования человека и биоты.

Наряду с этим ЕЭМ может быть ориентирован на достижение специальных программных целей, связанных с обеспечением необходимой информацией организационных, социальных и других мер по повышению конкретных природоохранных мероприятий, проектов, международных соглашений и обязательств государств в соответствующих областях.

В Российской Федерации мониторинг в пределах своих целевых функций и компетенции осуществляют ряд ведомств.

Ключевые позиции в ЕГСЭМ принадлежат Госкомэкологии и Росгидромету.

Госкомэкология (ранее Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов) координирует деятельность министерств и ведомств, предприятий и организаций в области мониторинга ОПС; организует мониторинг источников антропогенного воздействия на ОПС и зон их прямого воздействия; организует мониторинг животного и растительного мира (кроме

лесов); обеспечивает создание и функционирование экологических информационных систем; ведет с заинтересованными министерствами и ведомствами банки данных об ОПС, природных ресурсах и их использовании.

Государственная служба мониторинга Росгидромета базируется на сети пунктов режимных наблюдений. По состоянию на начало 1995 г. масштабы ее работы характеризуются следующими данными.

Наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха проводились в 284 городах на 664 стационарных постах (в том числе регулярно в 234 городах непосредственно подразделениями Росгидромета). Измеряли концентрацию от 5 до 25 ингредиентов. Общий объем работы по анализу содержания вредных веществ — около 4 млн проб в год. Спичный состав пунктов режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод России (на 01.01.96) включал 1928 пунктов, 2617 створов, 2958 вертикалей и 3407 горизонтов, расположенных на 1363 водных объектах (на 1204 водотоках и 159 водоемах). Было отобрано и проанализировано почти 50 тыс. проб воды и выполнено около 980 тыс. определений по 158 гидрохимическим показателям.

Мониторинг загрязнения морской среды (по химическим и гидробиологическим показателям) базируется на данных более 500 станций (623 станции на начало 1993 г.), расположенных на всех морях России.

Подсистема национального мониторинга загрязнений в ЕГСЭМ имеет центральную и 10 региональных лабораторий, а также средства для экспедиционных обследований.

Сеть станций по наблюдениям за трансграничным переносом вредных веществ ориентирована на западную границу России. На трех станциях отбирают пробы на атмосферный аэрозоль, диоксиды серы и азота, а также пробы атмосферных осадков. Насчитывается около 40 постов наблюдения системы комплексного мониторинга загрязнения ОПС.

Контроль за загрязнением снежного покрова осуществляют на 645 метеостанциях, охватывая площадь 17 млн

км². В пробах определяют ионы сульфата, нитрата, аммония, рН, бенз(а)пирен и тяжелые металлы.

На территории России функционируют шесть станций комплексного фоновое экологического мониторинга (СКФЭМ), расположенные в биосферных заповедниках. Создана система экологического мониторинга по важнейшим компонентам атмосферы (озон, диоксид углерода, оптическая плотность аэрозолей, химический состав осадков, атмосферно-электрические характеристики). Наблюдения за этими ингредиентами входят в обязательную программу исследований.

Сеть наблюдений за радиоактивным загрязнением ОПС включает 456 гидрометеостанций и постов. 1394 пункта регистрируют мощность экспозиционной дозы гамма-излучения; за радиоактивными атмосферными выпадениями наблюдают 487 пунктов, аэрозолями — 51. На 300 пунктах фиксируют уровни радиационных выпадений (на 50 из них — концентрацию); на 30 пунктах определяют содержание трития в атмосферных осадках, на 82 — стронция-90.

Кроме того, ведут интенсивные работы по обследованию территорий, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, в том числе обследование дворов в населенных пунктах с загрязнением более 5 Ки/км².

Созданные в сетевых подразделениях оперативные группы осуществляют маршрутные наблюдения за радиационной обстановкой в районах, прилегающих к радиационно-опасным объектам.

В Росгидромете создана система оперативного выявления и расследования опасных эколого-токсикологических ситуаций, связанных с аварийным загрязнением ОПС.

Как уже отмечалось, в подсистемах экологического мониторинга проводят наблюдения (и изучение) составляющих биосферы на различных уровнях — импактном (локальном), региональном и фоновом (глобальном).

Отличительная особенность экологического мониторинга локального уровня — тесная связь системы контроля источников эмиссий и их воздействия на ОПС с технологическими процессами объекта. Это позволяет рас-

смагивать систему экологического мониторинга техногенных воздействий в комплексе с мероприятиями по контролю и управлению технологическими процессами того или иного производства. В данном случае оценивают именно объекты техносферы в отличие от природных экосистем, мониторинг которых заключается в наблюдении, анализе и прогнозировании состояния и изменений природных сред и биоты (фоновый мониторинг заповедных зон, лесов, земель и т.д.). Все основные функции систем экологического мониторинга в полной мере реализуются в мониторинге регионального уровня. Структуру построения Единого экологического мониторинга (ЕЭМ) для этого уровня можно представить в виде сфер получения, обработки и отображения информации, а также сфер оценки ситуации и принятия решений.

Задачи единого экологического мониторинга можно свести к следующим:

- оперативный контроль экологического, социального, медико-биологического состояния ОПС;

- выявление факторов экологического неблагополучия региона (в том числе источников негативного воздействия на ОПС и здоровье населения);

- характеристика фактического состояния ОПС;

- подготовка и обобщение информации при ее прохождении по иерархическим уровням для принятия решений, адекватных экологической обстановке;

- сбор, систематизация и хранение объективной информации о состоянии ОПС, здоровье населения (с учетом возможной субъективности в оценке этих факторов);

- выработка управляющего решения, направленного на улучшение состояния ОПС (с использованием подсистемы поддержки для принятия решений с анализом степени риска).

Необходимыми структурными звеньями (блоками) любой подсистемы Единого экологического мониторинга являются: измерительный комплекс; информационный комплекс, включающий в себя базы и банки данных правовой, медико-биологической, санитарно-гигиенической, социальной, техни-

ко-экономической направленности; системы оценки и оптимизации промышленных объектов; системы восстановления и прогноза полей экологических и метеорологических факторов, а также системы принятия решений.

Разработка проекта единого экологического мониторинга требует разносторонней информации. В том числе необходимо знать:

- источники поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в ОПС [выбросы ЗВ в атмосферу промышленными, энергетическими, транспортными и другими объектами; сбросы сточных вод; поверхностные смывы загрязняющих и биогенных веществ; внесение в почвенный слой загрязняющих и биогенных веществ вместе с агрохимикатами при сельскохозяйственной деятельности; места захоронения и складирования промышленных и коммунальных отходов; техногенные аварии, приводящие к выбросу в атмосферу опасных веществ и (или) разливу жидких загрязняющих и опасных веществ и т. д.];

- процессы переноса ЗВ (атмосферный перенос, перенос и миграция в водной среде);

- процессы ландшафтно-геохимического перераспределения ЗВ (миграция ЗВ по почвенному профилю до уровня грунтовых вод; миграция ЗВ по ландшафтно-геохимическому сопряжению с учетом геохимических барьеров и биохимических круговоротов);

- данные о состоянии антропогенных источников эмиссии (мощность и месторасположение источника, гидродинамические условия поступления ЗВ в ОПС).

В зоне влияния источников эмиссии организуют систематические наблюдения с привлечением измерительного комплекса системы ЕЭМ на основе точечного и интегральных методов измерений с помощью стационарных (стационарные посты наблюдения) и мобильных (автомобили-лаборатории и аэрокосмическое зондирование) средств. Следует отметить, что аэрокосмические средства привлекают лишь при необходимости получения крупномасштабных интегральных показателей о состоянии ОПС, о чем будет сказано далее.

Получение информации обеспечивается тремя группами приборов, дающих

метеорологические характеристики, фоновые (на уровне ПДК) концентрации ЗВ и концентрации их вблизи источников эмиссии.

Атмосфера: метеорологические данные, химический и радионуклидный состав газовой и аэрозольной фаз воздушной сферы; твердые и жидкие осадки (снег, дождь), их химический и радионуклидный состав; тепловое и влажностное загрязнение атмосферы.

Гидросфера: гидрологические показатели (расход, скорость течения и уровень воды); гидробиологические показатели (фитопланктон, зоопланктон, зообентос, перифитон) на контрольных водосборах и створах (реки, озера, водохранилища и т.д.); гидрохимический и радионуклидный состав поверхностных вод (реки, озера, водохранилища и т.д.), грунтовых вод, взвесей и донных отложений (в природных водотоках и водоемах); тепловое загрязнение поверхностных и грунтовых вод.

Почвенный покров: химический и радионуклидный состав плодородного слоя почвы, фитотоксичность, микробная биомасса, миграция отдельных форм ЗВ.

Биота: видовой состав, заболеваемость, оценка продукции основных звеньев трофической цепи; химическое и радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий, растительного покрова, почвенных зооценозов, наземных сообществ, домашних и диких животных, птиц, насекомых, водных растений, планктона, рыб.

Урбанизированная среда: химический и радиационный фон воздушной среды городов, населенных пунктов; химический и радионуклидный состав продуктов питания, питьевой воды и т.д.

Население: характерные медико-демографические параметры (численность и плотность, рождаемость и смертность, возрастной состав, заболеваемость, уровень врожденных уродств и аномалий); социально-экономические факторы.

Использование в измерительном комплексе современных контроллеров, обеспечивающих сбор информации с датчиков, передачу ее потребителю с помощью модемной телефонной и радиосвязи или по компьютерным сетям

(электронная почта), значительно повышает оперативность системы.

На вооружении измерительного комплекса ЕЭМ имеются полностью автоматизированные, сложные многоцелевые, но в то же время компактные автономные системы слежения за качеством ОПС. Их развитие в основном сдерживается не техническими и технологическими, а финансовыми трудностями.

Основные структурные блоки современных автоматических систем ЕЭМ следующие:

датчики параметров ОПС (температура воздуха, солнечная радиация, состав вод, ионная форма металлов в водной среде, концентрации загрязняющих веществ в атмосфере и воде, включая СПАВ, гербициды, инсектициды, фенолы, бенз(а)пирены и др.);

датчики биологических параметров (прирост древесины, проективное покрытие растительностью, гумус почв и др.).

Простейшей автоматизированной системой слежения за параметрами ОПС является система «Радуга», разработанная Ассоциацией по решению экологических проблем г. Выборга. Эта система мониторинга экологического состояния водной среды предназначена для измерения необходимых параметров, первичной обработки данных и передачи информации по радиоканалу, обработки и хранения информации в ИВМ, выдачи результатов измерений в графическом и табличном варианте на дисплей и принтер.

Система слежения «Радуга» обеспечивает качественный мониторинг, способствующий в последующем восстановлению нормального экологического состояния водоемов. Ее применяют для контроля химического состава промышленных сточных вод, для слежения за уровнем ПДК и их соблюдением, а также для контроля требуемого качества технологических вод в различных производственных процессах. Экономия по технической и сырьевой базе составляет 20 % ее первоначальной стоимости.

«Радуга» улучшает технико-экономические показатели производства благодаря введению в программное обеспечение расчета ущерба, наносимого данным предприятием ОПС и человеку.

Используя систему «Радуга» можно

регистрировать в автоматическом режиме до 256 параметров.

Рассматриваемая система слежения работает круглосуточно с возможным циклом опроса каждого датчика — от 1 ч до 1 сут. «Радуга» может служить своеобразным «сторожем», позволяя фиксировать залповые аварийные (незапланированные) выбросы и сбросы, как правило, скрываемые предприятиями.

В качестве датчиков применяют различные типы ионоселективных электродов, регистрирующие насыщение водородом, ионами хлора, брома, нитра(-ри)тов, аммонийным азотом, сульфо(-фи)тами, фосфатами и некоторыми тяжелыми металлами.

Региональная подсистема ЕЭМ предполагает работу с большими массивами разнообразной первичной информации. Поэтому одна из актуальных задач — создание единого научно-информационного пространства, которое может быть сформировано на основе геоинформационных технологий.

В этом отношении важное значение имеет создание геоинформационных систем (ГИС), являющихся универсальным средством сбора, обработки, хранения, систематизации, научного анализа и представления информации. Только с введением ГИС должным образом реализуется возможность целостного подхода к комплексным по своей сути проблемам ОПС.

Геоинформационную систему ЕЭМ целесообразно создавать, исходя из концептуальной модели, синтезирующей теоретическую, экспериментальную и экспертную информацию, а также интегрирующей разнотипную информацию.

При этом необходимо предусмотреть:

- формирование баз данных кадастровой и картографической информации, материалов дистанционного зондирования;

- функционирование в естественном режиме с использованием каналов связи; возможность реализации программ на персональных компьютерах;

- информационную и программную совместимость ГИС областного уровня при ее объединении в системы бассейнового (регионального) и федерального уровней;

поддержку распределенных (территориально разнесенных) баз данных.

ГИС необходимо создавать на различных иерархических уровнях управления (местном, областном, региональном). Каждая из уровней систем имеет основную базу данных, интеллектуальный интерфейс, комплекс программ моделирования и программы принятия управленческих решений. Отличие — в уровне генерализации информации, содержащейся в базах данных, а также в характере решаемых задач.

Система ЕЭМ предусматривает не только контроль за состоянием ОПС и здоровьем населения, но и возможность активного воздействия на ту или иную ситуацию.

Используя иерархический уровень ЕЭМ (сфера принятия решений), а также подсистемы экологической экспертизы и оценки воздействия на окружающую среду ОВОС, представляется возможным управлять источниками эмиссии на основе результатов математического моделирования промышленных объектов и регионов, а также сложных экосистем. (Под математическим моделированием, например промышленных объектов, понимают моделирование технологического процесса, включающее модель вероятного воздействия на ОПС и его последствия.)

Модели позволяют исследовать чувствительность отдельной экосистемы к изменению того или иного воздействующего фактора (в том числе и на фоновом уровне). Предполагается, что численные значения отдельных коэффициентов в этих моделях можно определить путем лабораторных экспериментов.

При изучении и анализе воздействия различных факторов на сложные биологические системы целесообразно проводить обоснованные математически и экологически многофакторные эксперименты. Такой эксперимент позволяет одновременно и независимо анализировать различные множества сочетаний факторов, воздействующих на биологические системы. Здесь первостепенное значение имеет исследование вероятных (ожидаемых) ситуаций, прогнозируемых на основании существующих тенденций изменения биологических систем. Посредством отдельных экспе-

риментов и надлежащих математических обоснований можно моделировать реальные ситуации состояния ОПС в будущем, выявлять отдельные факторы, ответственные за ожидаемые изменения (например, эвтрофирование водоемов в результате поступления соединений азота, фосфора и др.), что позволяет достаточно достоверно определять отдельные очаги загрязнения и вырабатывать обоснованные меры адекватных управляющих воздействий на технологическом и экологическом уровнях.

Единому экологическому мониторингу уделяют значительное внимание в рамках Глобальной системы мониторинга окружающей природной среды (ГСМОПС). Основными задачами ЕЭМ при этом являются оценки:

- проблемных и критических ситуаций, которые могут возникать в результате землепользования и сельскохозяйственной деятельности;

- реакций наземных экосистем на антропогенные изменения ОПС;

- состояния и функциональной целостности среды обитания и экосистем.

К ЕЭМ относятся также мониторинг состояния почв (почвенно-экологический мониторинг); мониторинг водных (в том числе морских) систем и ресурсов, мониторинг биоты.

Очень важно наблюдать за природными комплексами, подверженными в различной степени антропогенному влиянию (от заповедных территорий до экосистем, формирующихся после существенного направленного или ненаправленного воздействия со стороны человека). Так, одним из наиболее распространенных антропогенных воздействий на водные экосистемы (озера, водохранилища) является процесс эвтрофирования, ускоряющий их «старение». Поэтому в системе показателей экологического мониторинга необходимы критерии, характеризующие развитие эвтрофирования.

Наглядным примером определения антропогенного воздействия на основе экологического мониторинга может служить оценка закисления вод (и почв) в результате выпадения кислотных дождей $[SO_2(SO_3) + H_2O]$. При низких значениях рН в водоемах исчезают диатомовые и синезеленые водоросли, пред-

ставители зоопланктона (например, дафнии). Увеличение содержания ионов резко меняет рН. В результате заметно ухудшаются условия воспроизводства рыбных запасов, а в отдельных случаях рыба полностью исчезает из закисленных водоемов. Из-за загрязнения сточными водами речных и озерных экосистем (рН < 5,0) отмечается уменьшение числа моллюсков, а в эстуариях — членистоногих. Возможную реакцию экосистем следует, разумеется, учитывать при организации экологического мониторинга для определения влияния нетоксичных органических и неорганических веществ в водных экосистемах (увеличение биомассы синезеленых водорослей и появления их токсинов, уменьшение численности или исчезновение различных организмов, появление продуктов разложения планктона, увеличение гетеротрофной части ценоза и т. д.).

Воздействие загрязнений на наземные экосистемы также сопровождается изменениями, которые могут быть использованы в качестве специфических показателей в различных подсистемах экологического мониторинга. Например, уменьшение видового разнообразия и изменение распределения особей по видам. Повышенная кислотность почв способствует увеличению подвижности ионов Al, Mn, Fe и др., приводит к их перераспределению. Понижение рН изменяет почвенную микрофлору и наносит повреждения даже высшим растениям. В этом случае снижается продуктивность азотфиксирующих бактерий и уменьшается скорость разложения органических соединений.

Кислотные осадки, повреждая лишайники, изменяют азотный цикл (баланс) экосистем (лишайники, поглощая азот, переносят его растениям), накопление же серы ведет к нарушению ее биогеохимического цикла.

Отмечено, что почва как компонент биогеоценоза во многом определяет устойчивость ландшафта к закислению. Поэтому знания потенциальной возможности почв в процессах аккумуляции, трансформации и нейтрализации кислотных выпадений необходимы для своевременных выявления и оценки тенденции изменения свойств, способ-

ных оказать негативное воздействие на биогеоценозы.

Следовательно, для почвенно-экологического мониторинга необходимо наличие информации о свойствах почвы эталонного участка (для различных биогеоценозов или почвенно-растительных зон). К сожалению, доступность такой информации довольно-таки ограничена по ряду причин. Главные среди них: естественные сукцессии в растительных сообществах, изменения в природопользовании территорий, переход к новым аналитическим методам исследования (наблюдения) почв и, наконец, ограниченность комплексных долговременных исследований состояния почв. Не случайно возникла необходимость разработки подпрограммы «Химия почвы» в рамках программы ГСМОПС (International Cooperative Programme on Integrated Monitoring, 1989). Создание сети станций мониторинга и проведение на них долговременных наблюдений за показателями состояния почвенных экосистем позволяют получить достоверную информацию, необходимую для долгосрочного прогнозирования возможных изменений свойств почв.

В последнее время предпринимаются небезуспешные попытки использовать количественные характеристики процессов потребления протонов в реакциях внутрипочвенного выветривания, изменения баланса элементов и их геохимической миграции при установлении критических кислотных нагрузок для разных по устойчивости почв и экосистем в целом.

Для расчета критических кислотных нагрузок на почву можно использовать достаточно простой балансировый метод, основанный на предположении о равновесном состоянии процессов ионного обмена:

$$CL(AC) = BC_w - BC_v - ANC_1 - AC_n,$$

где СЦАС) — критическая нагрузка кислотности; BC_w — скорость высвобождения основных катионов (Са, Mg, К, N) при выветривании минералов; BC_v — поглощение основных катионов корнями растений; ANC — потери кислотной способности с поверхностным и внутрипочвенным стоками; AC_n — продуцирование ионов водорода при трансформации азота в почве.

Хотя этот метод и не учитывает всей совокупности почвенных процессов и

изменения их интенсивности по почвенному профилю, но его небезуспешно использовали шведские экологи при расчетах критических нагрузок для лесных почв.

Широкий экологический спектр возможных изменений почвенного покрова под воздействием кислотных осадков представлен в таблице 18.2.

18.2. Возможные изменения в почве под воздействием кислотных осадков

Свойства почвы	Характер изменений	Наличие изменений по разным литературным источникам
Кислотно-основные	Снижение $pH_{водн}$ и $pH_{сол}$	+
	Увеличение обменной и гидролитической кислотности	+
Катионообменные	Повышение доли Al^{3+} в структуре обменных катионов ППК	±
	Выщелачивание Са, Mg, К из ППК	+
Содержание и качество гумуса	Снижение степени насыщенности ППК основаниями	+
	Снижение скорости деградации растительных остатков	±
Формы соединений железа и алюминия	Торможение процессов минерализации гумуса	+
	Повышение подвижности фульвокислот и агрегация гуминовых кислот	±
	Уменьшение содержания водорастворимых органических соединений	±
	Изменение элементного состава гумусовых кислот	±
Содержание и подвижность микроэлементов	Аккумуляция подвижных форм соединений металлов в верхних горизонтах профиля	±
	Увеличение доли аморфных соединений за счет трансформации несиликатных окристаллизованных и силикатных форм	±
Микробиотоз и биохимические	Мобилизация в почвенный раствор Mn, Zn, Cd, Ni	+
	Уменьшение подвижности Mo, Cr	+
Микробиотоз и биохимические	Уменьшение подвижности Рb, Си при умеренных кислотных нагрузках и мобилизация их при повышении кислотности	±
	Снижение общей численности бактерий и актиномицетов	+
Микробиотоз и биохимические	Рост численности микроскопических грибов	+
	Снижение интенсивности «дыхания» почвы	±
Микробиотоз и биохимические	Изменение закономерностей биохимического цикла азота	±

Примечание. «+» — изменения есть, «±» — однозначных суждений нет.

Изменения отдельных характеристик почвенного покрова, индуцируемые воздействием кислотных осадков, способны отразиться на жизненном состоянии и структуре растительной компоненты биогеоценозов. Кроме косвенного эффекта кислотных выделений они способны оказывать на растения и прямое воздействие, например, путем контакта осадков с кронами деревьев, приводящего к повреждению кутикулы и эпидермиса листьев, выщелачиванию питательных элементов, нарушению репродуктивных процессов и т. д.

Рассмотрим подробнее, каким образом под влиянием кислотных осадков нарушается состояние фитоценоза.

Изменение кислотно-основного равновесия в почве влияет на мембранный потенциал корней, подавляя диссоциацию активных групп липидов, протеинов и других компонентов клеточной мембраны, а также понижая отрицательный заряд поверхности корней. Как следствие, затрудняется преимущественное поглощение катионов из раствора. Нарушение этих процессов усугубляется изменениями в составе почвенного раствора. Доступность растениям важных биогенных элементов (Са, Mg, К) падает в результате их выщелачивания из ризосферы в более глубокие почвенные горизонты.

Одновременно возрастает мобильность других элементов, обладающих фитотоксичными свойствами. К ним относятся Mn, Zn, Cd, Co, Ni, т. е. элементы, активно мигрирующие в кислых почвах в виде минеральных ионов. Почти все они — биохимические антагонисты железа. Повышение их активности ведет к возникновению хлороза, обусловленного железистой недостаточностью. Кроме того, вследствие нарушения питательного режима растений снижается их устойчивость к насекомым, патогенным грибам, бактериям и вирусам, ослабляется морозо- и засухоустойчивость.

Установлена зависимость поведения в почвах загрязнителей от минералогического состава и состава органических веществ. Глинистые минералы и свободные полуторные оксиды могут удерживать химические вещества в результате ионного обмена, хемосорбции, осаждения и окклюзии.

Участие органических веществ в различных по природе реакциях взаимодействия с загрязняющими веществами диктует необходимость определения ряда показателей гумусового состояния почв при почвенно-экологическом мониторинге. Это общее содержание гумуса, групповой его состав, водорастворимые органические вещества. Например, растворимая форма фульватов Zn может передвигаться по почвенному профилю, а гуматы его образуют пленки на поверхности почвенных частиц. Образование комплексных соединений может расширить границы распространения металлов в ландшафте, а при высоком их содержании они могут закрепляться в почвенном профиле в форме связанных органоминеральных и сорбционных соединений (комплексов).

Влияние кислотно-основных условий на геохимическую подвижность металлов в почвенно-геохимических ассоциациях приведено в таблице 18.3.

18.3. Классификация элементов по степени геохимической подвижности (по М. А. Глазовской)

Геохимическая ассоциация	Практически неподвижные	Слабоподвижные	Подвижные
Кислые субаэральные, рН < 5,5	Mo ⁴	Pb ^{2...4} , Cr ^{3...6} , Ni ^{2...3} , V ^{4...5} , As ³ , Se ³ , Co ^{2...3}	Sr, Ba, Cu, Zn, Cd, Hg, S ⁶
Слабокислые и нейтральные субаэральные, рН 5,6...7,5	Pb	Sr, Ba, Cu, Cd, Z _n , V ⁵ , As ⁵ , Cr ^{3...6} , Ni ^{2...3} , Co ^{2...3} , Mo ⁴ , Hg	S ⁶
Щелочные и сильнощелочные субаэральные, рН 7,6...9,5	Pb, Ba, Co	Zn, Ag, Cu, Cd, Sr	Mo ⁶ , V ⁵ , As ⁵ , S ⁶

При проведении мониторинга необходимо обращать внимание на выбор объектов исследования. В зоне локального загрязнения участки для наблюдения и контроля выбирают в зависимости от расстояния до источника загрязнения с учетом направления преобладающих ветров и рельефа.

На фоновой территории в качестве тестовых участков выбирают те почвы, где ожидается наиболее раннее повышение концентрации загрязняющих веществ. Многочисленные полевые исследования свидетельствуют о накоплении

химических веществ различной природы (катионогенные, анионогенные, пестициды) в почвах аккумулятивных ландшафтов. Их в первую очередь и обследуют при фоновом мониторинге.

Методологические основы почвенно-экологического (в том числе и ландшафтно-геохимического) мониторинга в рамках ЕГСЭМ частично разработаны; углубление и совершенствование их продолжается на базе почвоведения, геохимии, географии и других смежных дисциплин. Соответствующие работы ведут по следующим направлениям: анализ закономерностей формирования техногенных потоков загрязняющих веществ в различных ландшафтах, изучение реакций отклика почв и природных ландшафтов геохимических систем в целом на техногенные воздействия, изучение в модельных опытах влияния загрязняющих веществ на почвы и процессы их трансформации, определение индикаторов загрязнения почв в целях мониторинга, обоснование мероприятий по прогнозу и снижению отрицательного воздействия техногенеза на почву. Чтобы обеспечить успешное проведение исследований по названным направлениям, необходимо разработать количественные модели миграции и поведения ингредиентов-загрязнителей в том или ином природном комплексе, затем на их основе определить константы, являющиеся параметрами ОПС. Несомненно, что полностью учесть весь обширный комплекс действующих факторов расчетом весьма непросто, поэтому эмпирический метод в этих исследованиях еще долго будет преобладать.

В целях повышения эффективности экологического мониторинга в рамках ГСМОПС последовательно расширяют применяемые методы исследований. В качестве примера можно сослаться на использование дистанционных методов аэрокосмического мониторинга. Его проводят самолеты-лаборатории, спутники, космические корабли. Дистанционные наблюдения могут быть визуальными, фотографическими, телевизионными, спектрофотометрическими. Диапазон информации, получаемой с помощью этих методов, весьма обширен.

Например, результаты аэрокосмических наблюдений позволяют оценить

развитие процессов опустынивания в результате дигрессии пастбищ (что наблюдается в Калмыкии), определить степень техногенных воздействий на состояние земельных ресурсов, выявить деградацию лесных угодий и т. д.

Важное место в системе аэрокосмического мониторинга отводится установлению мест особенно сильного загрязнения, состоянию жизненно важных экосистем (тропические леса и т. п.), ареалам загрязненных территорий, увязывая с непосредственными изменениями на местах.

18.3. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Дистанционное зондирование земной поверхности методами аэрофотосъемки или из космоса позволяет значительно снизить стоимость получения информации и увеличить ее объем, обеспечить оперативность информационных потоков, поскольку проводимый мониторинг осуществляется относительно простыми, но высокотехнологическими средствами. Например, спутник системы «Ландсат» (США) передает изображения, ориентировочная стоимость которых составляет 1 цент за 1 км² обследуемой территории. Для сравнения — при наземных исследованиях стоимость получаемых данных (разумеется, более детализированных), например по растительному покрову, достигает порядка 100 долл. за 1 км².

Необходимо иметь в виду при этом, что методология дистанционного мониторинга, основанная на корректировании, условно говоря, экстенсивных и интенсивных данных, получаемых в результате наземных, авиационных и спутниковых наблюдений, сопряжена с рассеиванием (утратой) определенной части информации. Не в последнюю очередь по этой причине целесообразным и эффективным является построение трехуровневого мониторинга, включающего одновременное использование данных наблюдений, зафиксированных в заданном временном интервале на земле, с воздуха и из космоса.

При осуществлении экологического

мониторинга, особенно дистанционным путем, существенно возрастает значение интегральных характеристик экологических систем. Они позволяют достаточно объективно судить о крупномасштабных изменениях природных комплексов, обусловленных влиянием антропогенных факторов (рис. 18.2).

Стратегия комплексного мониторинга позволяет ограничиваться сбором наземной информации лишь на ключевых участках. Дешифрирование же видеoinформации по остальной исследуемой территории проводят на основе корреляций, устанавливаемых по ключевым участкам. Получаемая полезная информация уже сейчас дает достаточно значимые результаты несмотря на то, что база для корреляций данных пока еще находится на стадии формирования.

Для целей дистанционного мониторинга были созданы специальные спутниковые аппараты, спутниковые системы «Метеор», «Метеор—Природа» (СССР — Россия); «Ландсат» (США). Еще в начале 70-х годов со спутника «Метеор» принимали изображения, позволяющие с достаточной для практических целей точностью характеризовать состояние пастбищной растительности в различных районах б. СССР.

Интересная и обширная, а главное устойчивая информация о состоянии

природных систем и ресурсов, естественных и антропогенных процессах на земной поверхности поступает с пилотируемых космических станций. Здесь особенное значение имеет возможность сбора информации по заранее заданной программе, целенаправленного поиска и обнаружения естественных и антропогенных аномалий и т. д.

В целом к настоящему времени получены достаточно интересные и ценные сведения о состоянии лесов и сельскохозяйственных угодий; о растительном покрове суши; о фитопланктоне океанов и морей; о нарушениях почвенного покрова в результате антропогенной деятельности и эрозионных процессов, развития урбанизированных зон; о перераспределении водных ресурсов; о загрязнении атмосферы, суши и моря.

Дистанционные методы расширяют и обогащают возможности комплексного изучения геосистем, различных сочетаний эко- и экотехнических образований, природных и культурных ландшафтов, включая агроландшафты. Они служат надежным качественно новым инструментом познания в естественных областях науки (география, почвоведение и др.), более совершенным средством исследования многоплановых биосферных процессов. Спутниковую информацию успешно

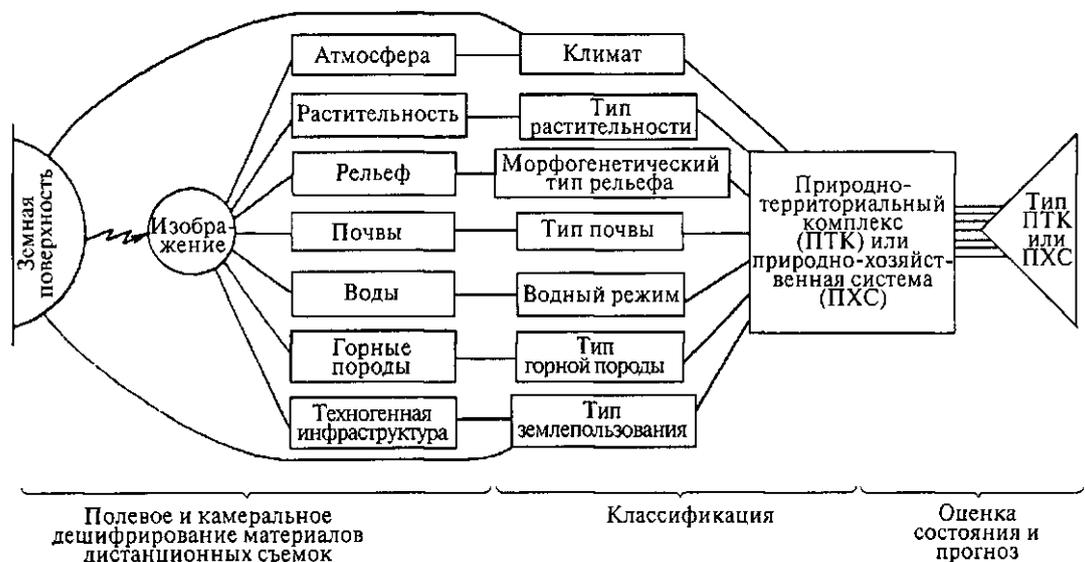


Рис. 18.2. Технологическая схема аэрокосмического мониторинга

применяют при изучении морфо- и геоструктур, определении структуры землепользования, оценке состояния сельскохозяйственных угодий. Использование многоспектральной съемки позволяет выявить и оценить состояние разных типов почв и их гранулометрический состав. Дистанционные наблюдения с искусственных спутников Земли поставляют исходный материал для картирования почв, районирования их по отдельным признакам. По количественным характеристикам отражательной способности почв можно оценивать ее влажность, гранулометрический состав, содержание гумуса и его качественный состав, нарушение земельных угодий, засоренность полей, качественное состояние растительности и др.

Изменение спектральной яркости природных экосистем позволяет получить также количественную информацию о нарушениях растительного покрова в целом и отдельно по различным (в том числе и агро-) ландшафтам, вызванных естественными или антропогенными причинами. На основе получаемой информации можно достаточно приемлемо оценить степень опустынивания, перевыпаса, распространения заболеваний сельскохозяйственных культур, накопления или потери растительной биомассы. Все это очень важно, например, для оперативного планирова-

ния в сельском хозяйстве. Аэрокосмические измерения дают информацию о степени задымления тропосферы над экологически неблагоприятными территориями, динамике выбросов и влиянии их на состояние эко- и агроэкосистем.

Космические съемки предоставляют широкие возможности для совершенствования геоботанического районирования, изучения растительности (естественных ценозов и агроландшафтов), определения продуктивности и запасов биомассы.

Наиболее актуальной задачей является организация такой системы мониторинга, которая позволила бы надежно выделять из большого числа характеристик наиболее существенные, приоритетные с точки зрения обеспечения решения поставленных задач. К ним относится, в частности, получение информативных показателей о формировании и развитии причинно-следственных связей в изучаемых процессах. В конечном счете обогащаются возможности изучения и понимания сущности биосферных изменений различного масштаба, природных и антропогенных воздействий на состояние любой экосистемы.

В общей системе мониторинга по целевой установке, методическому подходу, набору специфических решаемых задач особое место занимает агроэкологический мониторинг.

Глава 19

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ. МЕТОДИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ЕГО ПРОВЕДЕНИЯ



19.1. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ИНТЕНСИВНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Агроэкологический мониторинг является важной составляющей общей системы мониторинга и представляет собой общегосударственную систему наблюдений и контроля за состоянием и уровнем загрязнения агроэкосистем (и сопредельных с ними сред) в процессе

интенсивной сельскохозяйственной деятельности (рис. 19.1).

Основная конечная цель его — создание высокоэффективных, экологически сбалансированных агроценозов на основе рационального использования и расширенного воспроизводства природно-ресурсного потенциала, грамотного применения средств химизации и т. д.

В задачи агроэкологического мониторинга входят:

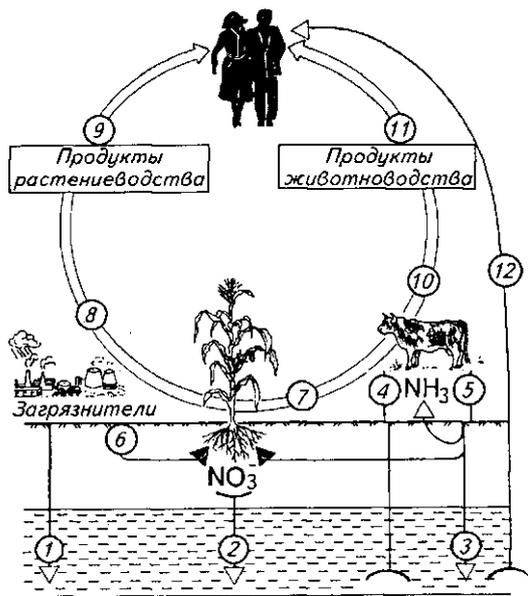


Рис. 19.1. Содержание агроэкологического мониторинга:

1...3 — сточные и грунтовые воды; 4, 12 — питьевые воды; 5 — выделения; 6 — токсиканты; 7 — корма; 8... 11 — продукты питания

организация наблюдений за состоянием агроэкосистем;

получение систематической объективной и оперативной информации по регламентированному набору обязательных показателей, характеризующих состояние и функционирование основных компонентов агроэкосистем;

оценка получаемой информации;

прогноз возможного изменения состояния данного агроценоза или системы их в ближайшей и отдаленной перспективе;

выработка решений и рекомендаций; консультации; предупреждение возникновения экстремальных ситуаций и обоснование путей выхода из них; направленное управление эффективностью агроэкосистем.

Основными принципами агроэкологического мониторинга являются:

1. Комплексность, т.е. одновременный контроль за тремя группами показателей, отражающих наиболее существенные особенности variability агроэкосистем (показатели ранней диагностики изменений); показатели, характеризующие сезонные или кратко-

срочные изменения; показатели долгосрочных изменений).

2. Непрерывность контроля за агроэкосистемой, предусматривающая строгую периодичность наблюдений по каждому показателю с учетом возможных темпов и интенсивности его изменений.

3. Единство целей и задач исследований, проводимых разными специалистами (агрометеорологами, агрохимиками, гидрологами, микробиологами, почвоведомы и т.д.) по согласованным программам под единым научно-методическим руководством.

4. Системность исследований, т.е. одновременное исследование блока компонентов агроэкосистемы: атмосфера — вода — почва — растение — животное — человек.

5. Достоверность исследований, предусматривающая, что точность их должна перекрывать пространственное варьирование, сопровождаться оценкой достоверности различий.

6. Одновременность (совмещение, сопряженность) наблюдений по системе объектов, расположенных в различных природных зонах.

В агроэкологическом мониторинге выделяются две взаимосвязанные по информационной базе подсистемы: научная и производственная.

Научной базой подготовки исходных данных для применения технологических решений является полигонный агроэкологический мониторинг. Такой мониторинг может осуществляться на делянках длительных опытов, постоянных участках слежения, реперных точках. Он при условии оснащения современными приборами и оборудованием позволяет проводить фундаментальные исследования по широкому спектру вопросов.

Производственная система включает мониторинг всех используемых сельскохозяйственных площадей страны по сравнительно небольшому набору показателей через 5... 15 лет. Позволяет получить надежную систему сроковых характеристик.

Единая система агроэкологического мониторинга позволяет сосредоточить усилия различных организаций для всесторонних наблюдений и последующей

пространственной оценки экологического состояния земель и других базовых элементов агроэкосистем. На этой основе возможна разработка достаточно объективной системы информации для решения кратковременных и долговременных агроэкологических задач.

Основные принципы организации полигонного агроэкологического мониторинга. В качестве полигонов для агроэкологического мониторинга используют длительные опыты географической сети. Целесообразность использования таких полигонов определяется тем, что они, как правило, отражают систематическое воздействие на почву и другие компоненты экосистемы наиболее широко распространенного техногенного фактора — удобрений и пестицидов, проводятся в строгом соответствии с требованиями единой методики на фоне высокой агротехники, рекомендуемой зональными системами земледелия. При этом широкий набор вариантов с различной химической нагрузкой позволяет в конечном счете установить экологически оптимальные системы удобрений и средств защиты для конкретных почвенно-климатических условий, разработать обоснованные нормативы нагрузок, уточнить ПДК и т. д. Таким образом, необходимым (да и, пожалуй, неизбежным) процессам химизации можно придать надлежащую экологичность. Использование в качестве полигонов агроэкологического мониторинга опорных базовых вариантов длительных опытов направлено на эколого-агрохимическую оценку:

различного насыщения почв минеральными удобрениями (особенно азотными);

использования химических средств защиты растений, стимуляторов роста и т. д.;

применения мелиорантов (известки, гипса и др.);

органических удобрений, растительных остатков промежуточных культур, сидератов;

биологических (без или с минимальным использованием средств химизации) систем земледелия.

Один из методических приемов изучения природной среды — разделение ее на определенные подсистемы (блоки)

в зависимости от целей эксперимента. В качестве изучаемых вариантов, например, целесообразно использовать принятые системы земледелия, обеспечивающие различные уровни продуктивности агроэкосистемы. В учреждениях, имеющих хорошую опытную базу для разработки новых, более совершенных, позволяющих выйти на заданную продуктивность систем земледелия, агроэкологические проблемы можно решить более масштабно. Такой полигон состоит из трех-четырёх вариантов с различными системами земледелия, насыщенностью удобрениями и средствами защиты растений и др. Набор же вариантов при проведении агроэкологического мониторинга обязательно должен охватывать весь спектр исследуемых уровней продуктивности (как оптимальные, так и экстремальные). В частности, вариант:

с интенсивным возделыванием сельскохозяйственных культур, обеспечивающий максимальную для данных зональных условий продуктивность севооборота на основе использования прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур (первый уровень продуктивности);

с использованием интегрированных систем удобрений и средств химической защиты растений, обеспечивающих достаточно высокую продуктивность на основе низких и средних доз удобрений и «мягких» способов применения химических средств защиты растений по экономическим порогам вредности (второй уровень продуктивности);

с биологическим способом ведения земледелия, основанный на использовании лишь органических удобрений, промежуточных культур, запарке соломы и т. д., в севооборотах с достаточным содержанием бобовых для обеспечения всех культур севооборота биологическим азотом при биологической и агротехнической системах защиты растений (третий уровень продуктивности);

соответствующий абсолютному контролю (экстенсивный способ ведения земледелия), отражающий современное естественное плодородие пахотных угодий данной зоны (четвертый уровень продуктивности).

В зависимости от конкретных усло-

вий можно рассматривать варианты с орошением, использованием химических мелиорантов и т. д.

Комплексные полигонные опыты позволяют оценить экологию тех или иных систем земледелия и технологию возделывания культур. Вместе с тем остается нераскрытым значение отдельных приемов и их сочетаний в контексте положительного или отрицательного воздействия на окружающую среду, для изучения которых служат стационарные полевые опыты, причем ценность результатов определяется их длительностью.

Наиболее информативными являются продолжительные многофакторные опыты. Их целесообразно планировать как полные факторные опыты или как выборки из полных схем. Изучая в таких опытах несколько факторов, можно достаточно объективно оценить возможное раздельное или совместное их действие на изучаемые показатели и процессы. Широкий диапазон факторов служит основанием для выбора оптимальных их значений с учетом агрономических и экологических критериев оптимальности.

Локальный агроэкологический мониторинг проводят в производственных условиях в опытно-показательных и базовых хозяйствах, расположенных в основных почвенно-климатических регионах страны. В его задачи входят: проведение систематических наблюдений за состоянием основных компонентов агроэкосистемы (почва — вода — растения) под влиянием интенсивного применения средств химизации; оценка и прогноз изменений состояния названных компонентов в зависимости от техногенных нагрузок; изучение и оценка высокоэффективных экологически безопасных технологических приемов в земледелии и разработка мер по их широкому применению в производственных условиях.

В системе локального мониторинга проходят апробацию основные технологические решения, полученные на полигонных объектах.

Сплошной агроэкологический мониторинг осуществляют учреждения Гипрозема, Агрохимслужбы и др., которые периодически (через 5... 15 лет) об-

следуют почвенный покров страны (рН, содержание гумуса, эродированность, засоленность, содержание подвижных форм N, P, K). По данным обследований составляют почвенные и агрохимические очерки, в которых дают всестороннюю характеристику землепользования хозяйств и рекомендации по его улучшению. Составляют также картограммы и карты. При проведении таких обследований можно выявить (а затем отразить на картографическом материале) антропогенные, техногенные, эрозионные и другие изменения свойств почв и состояния почвенного покрова.

При сплошном агрохимическом мониторинге предусматривают также ежегодную комплексную диагностику минерального питания по основным этапам органогенеза.

Для проведения мониторинга на типичных по почвенному покрову полях с разной интенсивностью химических нагрузок выделяют постоянные участки (реперные площадки), на которых изучают динамику широкого набора показателей, служащих основой для последующей экологической оценки применяемых технологий. Наблюдательные (фоновые участки) площадки организуют и на ближайших почвенных аналогах, не подвергающихся антропогенному воздействию (целина, залежь, естественные угодья).

Наиболее перспективное направление проведения сплошного производственного агроэкологического мониторинга — дистанционная аэрокосмическая съемка.

19.2. КОМПОНЕНТЫ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Основными блок-компонентами агроэкосистем являются атмосфера, вода, почва, растения. Проведение мониторинга по каждому из этих объектов имеет определенные особенности (рис. 19.2).

Почвенный экологический мониторинг состоит из трех последовательных взаимосвязанных частей: контроль (наблюдения) за состоянием почв и почвенного покрова и оценка их про-

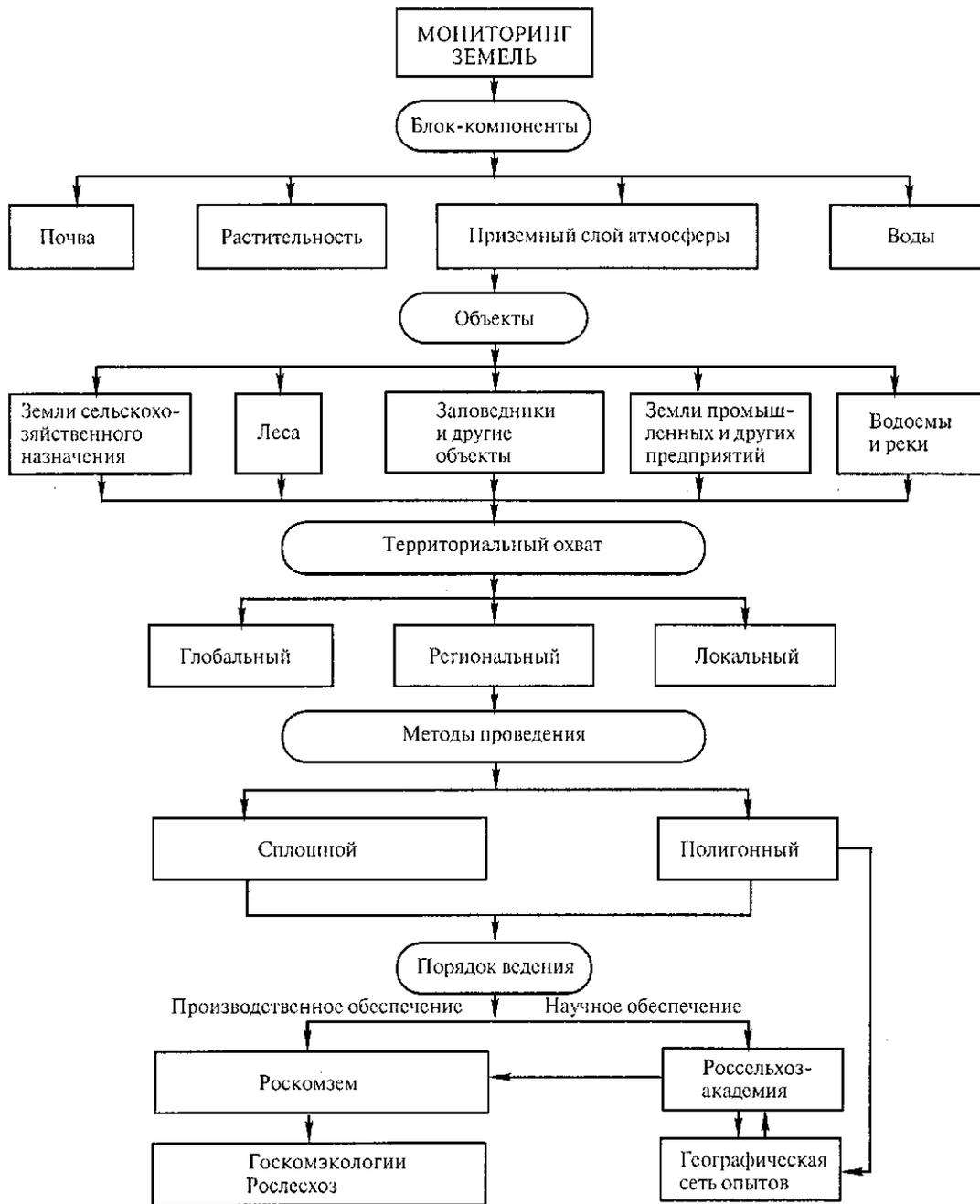


Рис. 19.2. Мониторинг земель и порядок его ведения

странственно-временных изменений; прогноз вероятных изменений состояния почв и почвенного покрова; научно обоснованные рекомендации по направленному регулированию основных

средств и режимов в почвах, непосредственно определяющих их плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур.

Под состоянием почв и почвенного

покрова во времени и пространстве понимают комплекс измеряемых показателей свойств, состава и плодородия почвы в пределах ее элементарного ареала в конкретный период. Состояние почвенного покрова — это соотношение находящихся в его структуре в определенном состоянии элементарных почвенных ареалов или их комбинаций в данное время.

От традиционных почвенных и агрохимических исследований мониторинг отличается прежде всего комплексностью и непрерывностью, единством целей и задач, многопрофильностью проводящих его специалистов, согласованностью программных и методических установок. Преимущества мониторинга как целостной системы слежения за различными объектами достаточно очевидны, поскольку почвенные и агрохимические исследования нередко выполняют на основе односторонних программ, предусматривающих ограниченный набор изучаемых параметров и использование разных методических подходов.

Получаемая на базе мониторинга информация об изменении свойств почвы, почвенных режимов и процессов под воздействием естественных факторов почвообразования и антропогенных нагрузок служит основой для моделирования почвенного плодородия.

В связи с тем что агроэкологический мониторинг включает прогнозную составляющую, необходимо ориентироваться на комплексные ландшафтные наблюдения. Наряду с параметрами плодородия и состояния почвенного покрова следует учитывать и факторы почвообразования, изменения состояния почвенного покрова. Обоснованность такого подхода объясняется тем, что антропогенные воздействия влияют не только на биоту, но и на уровень грунтовых вод (УГВ), водно-солевой режим и баланс, геохимическую миграцию элементов, водопроницаемость пород и даже рельеф. Для достижения требуемой достоверности прогнозов возможных изменений состояния почв и почвенного покрова они должны опираться на достаточно надежную теоретическую базу формирования и развития почвообразовательных процессов.

Прежде всего имеется в виду описание не только характера того или иного процесса, но и объективная оценка его интенсивности, скорости в зависимости от динамики факторов почвообразования.

Методологические предпосылки организации и проведения почвенно-экологического мониторинга определяются и особенностями хозяйственного использования земельных угодий. Необходимым условием успешного решения функциональных задач мониторинга является опережающее поступление информации о состоянии почв и почвенного покрова по отношению к сведениям о регулирующих воздействиях, направленных на рациональное использование почв (в частности, агротехнические, мелиоративные, противозерозионные и другие мероприятия). Уже на первых этапах организации и проведения мониторинга важным является создание банков данных.

Задача мониторинга состояния почвенного покрова — обеспечение регулярного контроля за использованием земель (соответствие природного потенциала земель их производственному назначению); однородностью почвенного покрова полей (контурность, пятнистость, образование микрорельефа и др.); эрозионными процессами (увеличение числа оврагов, дефляция поверхности, перемещение барханов, дюн и др.); оползневыми и селевыми наносами; подсклоновым заилением, заболачиванием, засолением, опустыниванием и другими негативными процессами.

Наблюдения за состоянием почвенного покрова, как правило, осуществляют путем наземного почвенного картирования, периодичность повторных туров которого нередко нарушается.

Управление состоянием почвенного покрова включает такие мероприятия, как рациональная организация территории, приведение в соответствие использование земель их природному потенциалу, почвенно-мелиоративные, агротехнические и противозерозионные приемы.

Усиление негативных антропогенных воздействий, обуславливающих нарушение почв и снижение их плодородия, требует включения в программы

почвенно-экологического мониторинга следующих задач:

определение потерь почвы (в том числе скорости потерь) в связи с развитием водной эрозии и дефляции;

контроль за изменением кислотности и щелочности почв (прежде всего в районах с повышенными дозами внесения минеральных удобрений при осушении и орошении, а также при использовании мелиорантов и промышленных отходов в окрестностях крупных промышленных центров, которые характеризуются высокой кислотностью атмосферных осадков);

контроль за изменением водно-солевого режима и водно-солевых балансов мелиорируемых, удобряемых или каким-либо другим способом изменяемых почв;

выявление регионов с нарушенным балансом основных элементов питания растений; обнаружение и оценки скорости потерь почвами гумуса, доступных форм азота и фосфора;

контроль за загрязнением почв тяжелыми металлами, выпадающими с атмосферными осадками, и за локальным загрязнением их тяжелыми металлами в зонах влияния промышленных предприятий и транспортных магистралей;

контроль за загрязнением почв химическими средствами защиты растений в районах их постоянного использования (например, на рисовых полях);

контроль за загрязнением почв дестергентами и бытовыми отходами, особенно на территориях с высокой плотностью населения;

сезонный и долгосрочный контроль за структурой почв и содержанием в них элементов питания растений, за водно-физическими свойствами и уровнем грунтовых вод;

экспертная оценка вероятности изменения свойств почв при сооружении гидромелиоративных систем, внедрении новых систем земледелия и технологий, строительстве крупных промышленных предприятий и других объектов.

Многообразие природных условий и факторов антропогенных воздействий на почвы, сложность почвенных структур обуславливают необходимость разработки дифференцированных программ почвенно-экологического мони-

торинга. Начальный этап мониторинга (первая форма) позволяет оценить состояние почв и почвенного покрова, масштабы воздействия антропогенных факторов, направленность и интенсивность развития негативных процессов и выбрать (в соответствии с базовыми принципами мониторинга) объекты для последующих исследований.

Стационарная форма почвенно-экологического мониторинга (вторая форма) реализуется по расширенной программе комплексных исследований свойств и параметров почв, режимов и процессов, протекающих в них.

Для длительных и комплексных наблюдений стационарный участок должен включать группу достаточных по размерам площадок, которые охватывали бы все виды почв, различающихся по степени проявления тех или иных процессов, например, при гидроморфизме мезоморфные почвы вершин повышенный, глееватые почвы склонов, глеевые понижения рельефа. То же относится и к немелиорированным массивам. Размеры экспериментальных участков (площадок) трудно определить заранее. Их устанавливают с учетом размеров и состояния элементарных почвенных ареалов, длительности исследований, видов режимных исследований и периодичности наблюдений.

Третья форма мониторинга реализуется по сокращенной программе в процессе маршрутных обследований заранее выбранных участков или маршрутов (по тому же принципу, что и стационарных). При этом основное внимание уделяют репрезентативным диагностическим показателям, наиболее динамично меняющимся во времени (кислотность, ОВП, плотность и структурное состояние почвы, впитывание УГВ и т.д.). Маршрутные обследования пространственно могут быть приурочены к стационарным участкам или их прокладывают по самостоятельным направлениям.

По своему содержанию маршрутная система мониторинга представляет собой форму оперативного контроля за состоянием почв и почвенного покрова, мелиоративных систем, агроэкосистем и продуктивностью земель. Периодичность (частота) маршрутов 1...3 за веге-

тационный период. В случае выявления негативных процессов (переосушение или подтопление площадей, утечка воды из дрен, изреженность и вымокание посевов, засоление, подкисление, осолонцевание, эрозия и т. д.) составляют соответствующие карты и картосхемы, специальные акты. При обнаружении значительных изменений в свойствах почв и структуре почвенного покрова оценивают целесообразность проведения дальнейших наблюдений на таких участках (территориях).

Четвертая форма мониторинга заключается в сплошном обследовании территории. Выходные информационные материалы при этой форме мониторинга составляют в первую очередь инвентаризационные картографические характеристики, а также картограммы агрохимических обследований и разработанные на этой основе рекомендации по рационализации землепользования.

Получаемые данные о фактическом состоянии почвенных (содержание гумуса, эродированность, рН, засоленность, солонцеватость и др.) и агрохимических (содержание подвижных форм азота, фосфора, калия и др.) свойств, агропроизводственная группировка почв и «почвенные очерки», характеризующие почвы по всему спектру пользования, служат базовыми предпосылками для последующих теоретических обобщений и практических рекомендаций. Последние же должны отражать трансформацию сельскохозяйственных угодий; охрану почв от водной и ветровой эрозии; осушение, орошение и проведение культуртехнических работ; химическую мелиорацию земель (известкование, гипсование и т. д.); рациональные размещения и набор сельскохозяйственных культур; особенности агротехнических приемов и систем применения удобрений с учетом почвенных условий; улучшение сенокосов и пастбищ.

Обязательное условие при осуществлении рассматриваемой формы мониторинга — использование методов картографирования. При этом набор приемов получения исходных данных (от визуальных до космических) должен быть максимально полным.

В зависимости от сложности почвен-

ного покрова для проведения съемок, оценки специализации хозяйств и интенсивности использования земель устанавливаются различные масштабы почвенных исследований (лесостепь — 1:10 000...1: 25 000; пастбищные угодья в полупустыне — 1 : 50 000; орошаемые и осушенные земли — 1 : 2000...1 : 5000 и т. д.). Одновременно дифференцируют точность проводимых обследований и составляемых картографических материалов.

В результате длительной распашки, применения удобрений, химических мелиорантов, орошения, осушения и других агротехнических и мелиоративных мероприятий компонентный состав комплексных почвенных контуров изменяется. На это обстоятельство в процессе мониторинга следует обращать серьезное внимание.

Для достижения репрезентативности наблюдений и объективности оценок состояния и изменений почвенно-агрохимических свойств почвенные обследования целесообразно проводить с периодичностью 1 раз в 10... 15 лет, а агрохимические — каждые 5 лет. Проведение таких работ повторно, с одной стороны, позволяет устранять недостатки и восполнять пробелы прежних наблюдений, а с другой (что наиболее существенно) — выявлять и фиксировать происшедшие изменения свойств почв и почвенного покрова вследствие природных и антропогенных воздействий.

При повторных почвенно-картографических обследованиях (корректировке) существенно повышается значимость аэрокосмических данных, дешифрировать которые целесообразно до полевых работ.

Выбирать объекты мониторинга следует, основываясь на почвенно-географическом, геохимическом и природно-хозяйственном районировании, с учетом особенностей использования земель и степени устойчивости почвенного покрова к разным техногенным нагрузкам.

Объекты мониторинга закладываются во всех земледельческих зонах. Они должны отражать типичные природные и сельскохозяйственные ландшафты и быть приурочены к местам наиболее интенсивного антропогенного воздей-

ствия. Параллельно выбирают фоновые территории (участки), представленные природными ландшафтами, почвы которых за последние 40...50 лет не испытывали или испытывали незначительные антропогенные нагрузки. Фоновыми территориями могут служить заповедники.

При выборе объектов мониторинга учитывают специализацию хозяйства, систему земледелия, способы обработки почв, систему севооборотов. Целесообразно выбирать объекты исследования (хозяйства) с разным экономическим уровнем.

Вид и степень антропогенного воздействия на почвы и структуру почвенного покрова также существенно влияют на выбор объектов мониторинга и объекты соответствующих работ. Например, при организации почвенного мониторинга распространения вторичного засоления число наблюдательных участков помимо прочих условий будет зависеть от степени (и, возможно, вида) засоления, уровня грунтовых вод и других специфических факторов. Предположим, что в зоне засоления почв имеются эрозионно опасные земли и источники техногенного загрязнения (к примеру, тяжелыми металлами), тогда в схему объектов мониторинга включают участки, позволяющие учитывать различные масштабы смывости, а также особенности аккумуляции почвой техногенных веществ в зависимости от расстояния до источников загрязнения, вида ценозов и других экологических факторов.

На мелиорированных землях необходимо принимать во внимание способ орошения, тип дренажа, сроки функционирования оросительной или осушительной системы, состав оросительных и дренажных вод.

Рельеф, крутизна и экспозиция склонов существенно влияют на перераспределение водных ресурсов и биогеохимических потоков веществ. Это также необходимо учитывать при выборе объектов мониторинга.

Формирование системы контролируемых параметров — наиболее важное звено в организации и проведении почвенно-экологического мониторинга. По мнению Г. В. Добровольского и дру-

гих исследователей, контролируемые параметры целесообразно объединять в три группы.

Первая группа интегрирует показатели ранней диагностики развития негативных явлений в состоянии почв и почвенного покрова. Она включает показатели угнетения биоты по ферментативной активности, «дыханию» и азотфиксации почв, по изменению окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий, плотности и фильтрации почв, минерализации почвенного раствора, дренажных и грунтовых вод.

Вторая группа охватывает показатели, отражающие более устойчивые изменения почв, в том числе количество и качество гумуса, изменения агрегированности (структурности) почвенного покрова, трансформацию содержания элементов питания растений, динамику тяжелых металлов, углеводов, биологическую продуктивность природных и искусственных ценозов и др.

Третью группу составляют показатели глубоких и устойчивых изменений свойств почв: соотношение тонкодисперсных и более крупных фракций гранулометрического состава почв, минералогического и химического составов, мощности почвенного горизонта и других устойчивых свойств и показателей почв. Наблюдения за показателями первой группы проводятся несколько раз в год, второй группы — 1 раз в течение двух — пяти лет (в зависимости от интенсивности негативных процессов) и третьей группы — 1 раз в 50 лет.

Согласно такому подходу контролируемые параметры первой группы, расширенный перечень которых приведен в таблице 19.1, рекомендуется отслеживать уже на первых этапах мониторинга, а также при маршрутной форме его реализации и т. д. Перечень контролируемых параметров для режимных наблюдений в условиях стационарных исследований (стационарная форма мониторинга) приведен в таблице 19.2.

Одним из основных блок-компонентов агроэкосистем являются растения. В процессе агроэкологического мониторинга фиксируют не только количество и качество урожая в конце вегетации, но

19.1. Контролируемые параметры, подлежащие мониторингу при всех видах предварительного обследования (преимущественно при маршрутных формах его реализации)

Контролируемый процесс	Показатель	Метод измерения	Периодичность	Метод регулирования
Подкисление или подщелачивание почв с помощью удобрений, мелиорантов или химического загрязнения	pH водный — все почвы; pH солевой — почвы, не насыщенные основаниями	Потенциометрический	2...3 раза в год	Химические и водные мелиорации, агротехнические приемы
Вторичное засоление	Содержание и состав солей в 100 см слое почвы; удельная электропроводность	Аэрокосмические спектральные измерения; электрометрический	1 раз в год	Регулирование водно-солевого режима орошением и дренажем
Осолонцевание при орошении	Процент обменного натрия	Потенциометрия или пламенная фотометрия	То же	То же
Потери гумуса	Процент гумуса в почве; водорастворимые органические вещества	По И. В. Тюрину	»	Внесение навоза; биологические мелиорации
Окислительно-восстановительный процесс	Почвы	Потенциометрический	2...3 раза в год	Агротехнические мероприятия; регулирование водного режима почв с помощью дренажа
Дыхание почвы	Выделение CO ₂	Дистанционные наблюдения	То же	Органические и минеральные удобрения
Содержание доступных растениям соединений NPK	Нитраты, фосфаты, K ²⁰	Анализ почвы и вытяжек; ионоселективные электроды	»	Внесение органических и минеральных удобрений; агротехнические приемы
Загрязнение почв тяжелыми металлами	Содержание подвижных форм соединений	Атомно-адсорбционный анализ	»	Химические мелиорации; агротехнические приемы; удаление загрязненного слоя почвы или запахивание на большую глубину
Уплотнение почвы	Объемная масса почвы	Объемный бур; гаммаскопический плотномер	»	Внесение органических удобрений; агротехнические приемы
Динамика грунтовых вод	Уровень грунтовых вод	Электрометрический; «хлопушка»	»	Дренаж
Минерализация грунтовых и дренажных вод	Катионный и анионный состав макроэлементов; микроэлементы	Химические методы анализа; ионоселективные электроды	3...4 раза в год	Оптимизация норм удобрений и сроков их внесения; агротехнические мероприятия

19.2. Примерный перечень контролируемых параметров для режимных наблюдений на стационарных участках мониторинга

Показатель, свойства почв	Периодичность определения	Глубина апробирования
Влажность почвы	1 раз в декаду	3А (ПП)
Потенциал почвенной влаги	1 раз в течение 2...5 сут	3А (ПП)
Уровень грунтовых вод	То же	3А (ПП)
Метеорологические параметры (температура и влажность воздуха, скорость ветра, осадки, испаряемость и т. д.)	Ежедневно	3А (ПП)
Объем дренажного стока с мелиоративной системы и отдельных ее участков	1 раз в неделю	-
Элементы водного баланса (суммарное испарение, инфильтрация, расход грунтовых вод)	1 раз в 5 сут	Моделируется 3А мощностью 1,0...1,5 и 2,0 м
Химический анализ дренажных и грунтовых вод на кальций, магний, аммиачный и нитратный азот, калий, фосфор, углекислоту, гидрокарбонаты и другие элементы, а также определение содержания тонкодисперсных частиц	В начале, середине и конце вегетационного периода	-

Продолжение

Показатель, свойства почв	Периодичность определения	Глубина апробирования
Окислительно-восстановительный потенциал почвы, растений, дренажных, грунтовых и поливных вод	По основным фазам развития растений	В почве (горизонты А + В)
Температура почвы на разных глубинах	По фазам и в течение вегетационного периода 1 раз в 5 сут То же	ПП

Элементы теплового баланса

Примечание. ПП — почвенный профиль; ЗА — зона аэрации

и собирают данные по всем динамическим показателям его формирования (накопление биомассы; формирование листовой поверхности для последующего расчета использования фотосинтетического потенциала, развитие ассимиляционной поверхности листьев; изменение структуры агрофитоценоза и его оптико-биологическая характеристика с оценкой КПД использования лучистой энергии; закладка и реализация элементов продуктивности растений).

Проведение таких наблюдений позволяет уточнить сроки агротехнических и агрохимических мероприятий, контролировать развитие процессов формирования урожая. Зная оптимальные параметры отдельных элементов, можно регулировать их.

При интенсивных технологиях возделывания зерновых культур для целесообразного внедрения различных агротехнических мероприятий, направленных на увеличение урожайности, важен учет не только фаз, но и этапов развития растений.

Существуют шкалы, позволяющие определить наступление макро- и микрофенофаз. Наиболее известна шкала Фекеса, оценивающая по внешним признакам от всходов до полной спелости 20 этапов развития.

Для характеристики фотосинтетической деятельности растений оперируют площадью листовой поверхности, которую можно измерять с помо-

щью фитопланиметра или рассчитывать по формуле

$$S=LDK,$$

где L — длина листьев; D — ширина листьев; K — постоянный поправочный коэффициент, равный для пшеницы и ячменя 0,67; для кукурузы 0,75.

Площадь листьев определяют в те же периоды, что и биомассу растений. По полученным данным строят кривые нарастания площади листьев в онтогенезе.

Морфофизиологический метод контроля позволяет в течение онтогенеза наблюдать за формированием основных элементов продуктивности, оценивать фото- и биосинтетическую активность посевов. Метод позволяет не только грамотно определять сроки агроэкологических мероприятий, но и объективно оценивать потенциальные возможности растений и степень реализации этих возможностей в зависимости как от применяемой системы удобрений, так и от абиотических факторов.

По полученным динамическим показателям устанавливают корреляционные зависимости между состоянием факторов внешней среды и развитием растений, формированием элементов продуктивности и конечным урожаем. Система контролируемых параметров (обязательный примерный перечень) блок-компонента «растение» приведена в таблице 19.3.

19.3. Перечень обязательных показателей качества продукции растениеводства для исследований в агроэкологическом мониторинге

Показатель	Характеризуемые свойства	ГОСТ на метод определения	Наличие метода инфракрасной спектроскопии
Содержание клейковины в зерне Качество клейковины зерна	Технологические	ГОСТ 133586. 1-68 ГОСТ 13586. 1-86	Имеется

Продолжение

Показатель	Характеризуемые свойства	ГОСТ на метод определения	Наличие метода инфракрасной спектроскопии
Активность α-амилазы	Технологические		—
Содержание сахарозы	»	ГОСТ 17421-72	—
Доброкачественность очищенного кормового сока	»	—	—
Содержание вредного азота	»	—	—
Масличность семян	»	ГОСТ 10857-64	Имеется
Количество лузги	»	—	—
Выход и качество:			
длинного и короткого волокна	»	—	—
чесаного волокна	»	—	—
Объемный выход хлеба	Хлебопекарные	ГОСТ 9404-60	Имеется
Масса 1000 зерен	Физические	ГОСТ 10842-76	»
Натура зерна	»	ГОСТ 10840-64	»
Стекловидность зерна	»	ГОСТ 10987-64	»
Товарность клубней картофеля	»	—	—
Содержание азота	Химические	ГОСТ 13496.4-84	Имеется
Содержание сырого белка:			
в зерне	»	ГОСТ 134496.4-84	»
в кормах	»	ГОСТ 10846-74	»
Содержание крахмала:			
в зерне	»	ГОСТ 10845-76	Имеется
в картофеле	»	ГОСТ 7194-81	»
в кормах	»	ГОСТ 26176-84	»
Содержание:			
фосфора	»	ГОСТ 26657-85	»
калия	»	—	—
кальция	»	ГОСТ 26570-85	Имеется
магния	»	—	—

Для осуществления непрерывного мониторинга состояния и развития растений можно применять автоматизированные системы. Такие системы представляют собой проблемно-ориентированный комплекс контрольно-измерительной аппаратуры, имеющий гибкую структуру, которая позволяет адаптироваться к информационному обеспечению широкого круга научно-исследовательских задач при разработке современных технологий интенсивного экологически безопасного земледелия.

В условиях интенсификации земледелия, особенно при нарушении правил обработки почвы и посевов сельскохозяйственных культур, наблюдается вынос из агроэкосистем биогенных элементов, остаточных количеств средств химизации и т.д., загрязняющих окружающую среду.

В число загрязняющих веществ входят и содержащиеся в удобрениях, выбросах и отходах промышленности, осадках сточных вод, используемых в сельском хозяйстве, тяжелые металлы. Загрязнение почв тяжелыми металлами опасно для почвенного покрова, вызы-

вает деградацию почв и снижает их плодородие.

Выращивание экологически безопасной продукции в условиях накопления тяжелых металлов в почве требует изучения баланса их в целом, а также его расходных статей (вымывание фильтрующимися и поверхностными водами, вынос растениями и др.).

Процессы накопления тяжелых металлов в почве, их подвижность и вертикальная миграция по профилю изучены пока недостаточно. Поэтому наряду с исследованиями миграции биогенных элементов из почвы с фильтрующимися водами необходимо изучать миграцию тяжелых металлов (Cd, Zn, Pb, Cr, Si, Ni и др.) и факторы, влияющие на этот процесс (тип почвы и гранулометрический состав, содержание органического вещества, физико-химические свойства, известкование, применение минеральных и органических удобрений).

Факторами формирования качества воды являются химические процессы трансформации и взаимодействия веществ, биохимические, биологические, физико-химические, а также гидрологические.

В химическом составе природных вод можно выделить следующие группы соединений.

1. Ионы, определяющие степень минерализации воды. Это анионы — Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} и катионы — Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ .

2. Биогенные вещества: нитраты (NO_3^-), нитриты (NO_2^-), аммоний (NH_4^+), фосфаты (PO_4^{3-}), кремний (Si), органические соединения азота и фосфора.

3. Органические вещества — комплекс истинно растворимых и коллоидных органических соединений.

4. Растворенные газы (O_2 , CO_2 , H_2 и др.)

5. Микроэлементы (Li^+ , Pb^{2+} , Cs^+ , Be^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Cr^{2+} , Mo, V, Mn, Br, J, F, B).

6. Ионы водорода, определяющие кислотно-щелочное равновесие водных растворов (рН).

7. Радиоактивные элементы.

Качество природных вод, контактирующих и взаимодействующих с почвой, тесно связано с почвенными процессами и техногенным воздействием на почву.

Под влиянием антропогенных факторов в природных водах могут содержаться различные загрязняющие вещества: нитраты, нитриты, пестициды, фенольные соединения, синтетические поверхностно-активные вещества, тяжелые металлы и т. д.

Поступающие с поверхности почвы загрязняющих веществ с фильтрующимся током воды через зону аэрации проходят в грунтовые воды. Накапливаясь в зоне аэрации, они являются вторичным источником загрязнения грунтовых вод. Последние, в свою очередь, загрязняют подземные (важнейший источник питьевой воды) реки и водоемы. Не случайно качество грунтовых вод является своеобразным интегральным показателем интенсивности не только естественных процессов, связанных с почвообразованием и круговоротом элементов в природе, но и антропогенных воздействий (например, применение средств химизации).

Основным методом исследования

вод внутрипочвенного стока (инфильтрационных, лизиметрических) является лизиметрический метод. Принцип его заключается в исследовании почвенного раствора, вытесненного просачивающимся через почву избытком дождевой и снеговой воды.

В практике лизиметрических исследований чаще всего применяют три типа лизиметров: лизиметры-монолиты с ненарушенным строением почвы; насыпные лизиметры с сохранением естественной последовательности в расположении генетических горизонтов почвы, а также лизиметрические воронки модификации Шиловой, устанавливаемые на различной глубине и пригодные главным образом для изучения концентраций внутрипочвенного стока по профилю почвы.

Основные недостатки лизиметрии — изолированность почвы в установках от грунтовых вод и отсутствие по этой причине капиллярного подъема воды с растворенными веществами, а также ограничение поверхности почвы стенками лизиметра, что задерживает поверхностный сток воды, который в естественных условиях составляет 20...25 % суммы выпавших осадков. Тем не менее этот метод позволяет моделировать процессы миграции элементов по профилю почвы и обеднения корнеобитаемого слоя основными элементами питания в зависимости от количества атмосферных осадков, типа и гранулометрического состава почвы, ее окультуренности, физико-химических свойств, форм и доз удобрений, вида возделываемых культур и их продуктивности.

Изучение методом лизиметрии особенностей изменений концентрации элементов в инфильтратах из почв под влиянием различных факторов позволило установить, что внесение минеральных удобрений (особенно в повышенных дозах) многократно увеличивает вымывание оснований поглощающего почвенного комплекса. Они вытесняются катионами удобрений и в эквивалентных количествах увлекаются легкоподвижными не сорбируемыми почвой анионами (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-).

Внутрипочвенный сток не только снижает почвенное плодородие, но и

приводит к загрязнению грунтовых и более глубоко залегающих горизонтов подземных вод.

Грунтовые воды — воды первого от поверхности земли водоносного пласта, залегающего на водоупоре. Поверхность грунтовых вод называют «зеркалом». Поровое пространство, заполненное водой и находящееся ниже зеркала, — зона насыщения. Поровое пространство выше зеркала, содержащее атмосферный воздух, — зона аэрации. Загрязненность почвенного слоя и зоны аэрации — показатель загрязнения грунтовых вод. Таким образом, анализ водных вытяжек из почвы и пород зоны аэрации — достаточно объективный метод исследования загрязнения грунтовых вод.

Создание специализированной наблюдательной сети требует бурения скважин, поэтому целесообразно максимально использовать уже имеющиеся наблюдательные скважины, колодцы, родники. При бурении скважин для отбора проб грунтовых вод глубиной до 10 м пользуются ручным, глубиной до 50 м — шнековым бурением.

По происхождению поверхностные воды разделяют:

- на поверхностно-склоновые;
- почвенно-поверхностные (микроручейковой сети и склонов);

- почвенно-грунтовые (из зоны аэрации, где в периоды обильного увлажнения возникают водоносные пласты — «верховодка»);

- грунтовые из постоянно существующих водоносных горизонтов, залегающих на первом от поверхности земли сплошном водоупоре.

Поверхностные воды при развитии эрозионных процессов обуславливают смыв почвы, потерю элементов питания, загрязнение окружающей среды. Основным методом изучения поверхностного и внутрипочвенного стоков склонов, а также смыва почв с поверхности — комплексные полевые наблюдения на специально оборудованных стоковых площадках, позволяющих собирать сток талых и дождевых вод.

Установка приемников воды на различных глубинах почвенного профиля дает возможность измерять также внутрипочвенный горизонтальный сток.

Для учета вертикальной миграции воды и растворенных в ней химических веществ на склоновых землях можно использовать блок лизиметров В. Е. Явтушенко, конструкция которых представляет собой сочетание лизиметров-поддонов, оснащенных разделительными боковыми щитами высотой, соответствующей глубине размещения их в почве. Устройство лизиметров обеспечивает беспрепятственное поверхностное и внутрипочвенное горизонтальное передвижение воды вниз по склону. Лизиметры благодаря их ступенчатому размещению по глубине почвенного профиля позволяют фиксировать определенный объем почвы и оценивать количественно инфильтрацию воды.

Атмосферные осадки, вынося из атмосферы вещества-загрязнители, являются фактором экологического риска. Так, наличие в атмосфере окислов серы и азота создает опасность выпадения кислотных дождей.

Анализ химического состава атмосферных осадков необходим для учета поступления элементов на единицу площади при балансовых расчетах.

19.3. ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АГРОЭКОСИСТЕМ

В системе агроэкологического мониторинга важной базовой составляющей является комплексная эколого-токсикологическая оценка исследуемых объектов. Химизация земледелия, экономические цели не всегда соответствуют требованиям обеспечения экологической безопасности. Экологическая безопасность на современном этапе развития земледелия может быть достигнута только в результате применения оптимальных доз химических средств с учетом необходимых экологических ограничений.

Определение набора показателей для эколого-токсикологической оценки представляет собой самостоятельную методическую задачу, решая которую целесообразно учитывать:

- почвенно-климатические характеристики регионов;
- наиболее вероятные (на основе мно-

голетних данных) метеорологические условия, включая особенности перемещения воздушных масс;

возможность загрязнения агроэкосистем промышленными выбросами близлежащих предприятий; объемы и состав, токсичность выбросов (при обязательном учете розы ветров);

применяемые технологии обработки почв и использования средств химизации (удобрения, средства защиты растений, химические мелиоранты).

Обязательное условие — проведение исходного химического анализа вод, почв, растений (в том числе по биогенным элементам: Cl, F, Se, B, Br, As, NO⁻³, NO⁻², нитрозоаминам; тяжелым металлам: Be, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Co, Mo, Ni, Hg, V, Sn; остаткам средств защиты растений; обязательно — ДДТ (ДДЭ), бенз(а)пирен, диоксины. При этом целесообразно использовать технологические карты и архивные материалы.

Для ряда регионов обязательным требованием при определении набора показателей для проведения эколого-токсикологической оценки является гамма-спектрометрия и радиометрия образцов почв, вод (в том числе грунтовых) и растений.

Показатели выбирают, сравнивая результаты, получаемые на основе инструментального анализа, со справочными данными и последующей дифференциацией их по группам:

показатели, не превышающие нормальное содержание;

показатели, не превышающие допустимое содержание;

экологически опасное содержание превышает допустимое.

Обязательное условие проведения эколого-токсикологической оценки — исходный анализ вод, почв, растений по комплексу выбранных показателей на фоновой территории (на достаточно большом участке ненарушенного ландшафта). В этом случае представляется возможным проследить динамику изменений экологического состояния исследуемой агроэкосистемы, в том числе и при проведении природоохранных мероприятий. Площадь выбираемого фонового участка зависит от условий того

или иного региона. При достаточном облесении и низком промышленном воздействии такие площади могут не превышать 1...1,5 га. В степных регионах, особенно при наличии экологически небезопасных предприятий (химические и металлургические производства, ТЭЦ и др.), указанные площади должны быть в 100...200 раз больше. Располагать фоновые участки надо с учетом розы ветров в соответствии с размещением оцениваемых агроэкосистем.

Контроль за накоплением растениями токсичных соединений и качеством растительной продукции входит в число системообразующих задач агроэкологического мониторинга. Токсикологическая же оценка продукции растениеводства определяет эколого-экономическую эффективность всего технологического комплекса возделывания культур.

Агроэкологический мониторинг включает системные наблюдения за компонентами агроценоза по единой унифицированной программе. В перспективе же предполагается организация на каждом полигоне автоматизированных систем контроля.

Основными агрофизическими параметрами почв, как известно, являются агрегированность, общая плотность и плотность твердой фазы, минералогический и гранулометрический составы, водопроницаемость, фильтрационная и водоудерживающая способности.

Агрегированность (наличие агрономически ценных и водопрочных агрегатов) — одно из основных агрофизических свойств почв. Она определяет их воздушный и водный режимы, являющиеся незаменимыми факторами жизни растений. Дезагрегирование (обесструктурирование) приводит к уплотнению и значительному ухудшению водно-воздушных свойств (фильтрация, влагоемкость и др.).

Общая плотность и плотность твердой фазы почв позволяют оценить соотношение твердой фазы и порового пространства, т. е. предпосылки и условия формирования водно-воздушного режима.

От *минералогического и гранулометрического составов* зависят наличие и доступность питательных элементов для

растений, а также важные при механической обработке почв свойства — липкость, набухаемость и усадка.

Водопроницаемость, фильтрационная и водоудерживающая способности почв определяют их водный режим и необходимость мелиорации.

Ухудшение агрофизических свойств влечет за собой нарушение экологических функций почвы, в том числе снижение сорбционных свойств.

В системе агроэкологического мониторинга агрофизические параметры постоянно контролируют.

Наиболее консервативным в отношении изменений является гранулометрический состав. Данный показатель целесообразно определять 1 раз в 5... 10 лет. Определяют гранулометрический состав послойно через каждые 10 см с помощью бура методом пипетки (по Качинскому). Данный метод позволяет получить достаточно надежные результаты. Водопроницаемость, фильтрационная и водоудерживающая способности почв более динамичны во времени. Они существенно зависят от влажности, уплотненности и сложения почв. Данные показатели следует контролировать при полигонном мониторинге 1 раз в ротацию севооборота (из-за трудоемкости определения) в конце вегетации (после уборки), когда устанавливается относительно равновесная плотность почвы, а посевы не затрудняют полевое определение водопроницаемости и фильтрационной способности.

Постоянно наблюдая за состоянием агрофизических параметров, можно предотвратить нежелательные изменения и ухудшение свойств почв, развитие негативных деградиционных процессов, а в итоге сохранить высокое плодородие почв, их важные экологические функции.

В сложной проблеме управления почвенным плодородием одним из важнейших факторов является контроль за состоянием органического вещества. Блок гумуса, несомненно, ключевой в почвенно-экологическом мониторинге, поскольку гумус почв, состояние его количественных и качественных характеристик определяют основные свойства и режимы почв, трансформацию и миграцию поступающих в процессе интен-

сификации земледелия и в результате техногенеза токсичных веществ.

Исследования показали, что содержание и качественный состав гумуса не являются стабильными, консервативными показателями, слабо поддающимися воздействию антропогенных факторов, как это считали ранее. При определении плодородия почв уже недостаточно учитывать только содержание в них гумуса, необходимо контролировать и его качественное состояние.

Заметные изменения природных показателей качества гумуса вызывает длительное систематическое применение удобрений. При этом групповой состав существенно не меняется. Соотношение основных групп $C_{гк}$: $C_{фк}$ (углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот), несколько увеличиваясь в большинстве исследованных почв на вариантах с внесением навоза, остается соответствующим типу гумуса, характерному зональному гумусообразовательному процессу.

В то же время органические и минеральные удобрения изменяют фракционный состав гумуса, способствуют накоплению подвижных его форм, повышают его активность. До недавнего времени это считали положительным явлением. Однако в некоторых случаях происходящие изменения могут носить негативный характер. Так, в результате длительного применения удобрений в черноземных почвах происходит перераспределение фракционного состава гумуса: увеличиваются гумусовые вещества первой фракции (подвижный гумус) и уменьшается наиболее ценная, связанная с Ca^{2+} , вторая фракция.

Таким образом, возможные изменения гумусового состояния по всему спектру показателей в результате тех или иных воздействий требуют постоянного наблюдения за его состоянием, разработки рациональных мер регулирования его баланса и качественных характеристик.

Для проведения широкомасштабных исследований гумусового состояния разных типов почв, позволяющих на основе создания зональных информационных массивов, математического моделирования и др. решить оптимизационные задачи, требуется системный

подход. В этом контексте важное значение принадлежит единой комплексной программе, разработанной для агроэкологического мониторинга в географической сети опытов. Программа предусматривает обязательный учет ряда унифицированных показателей, позволяющих достаточно объективно оценивать глубину и интенсивность воздействия различных факторов на гумус почв. Исходные принципы программы сформулированы на основе длительных опытов, основные из них следующие:

контроль гумусового состояния, который проводят на постоянных пунктах слежения (делянки длительных опытов, реперные площадки — точки полигонов и производственных территорий), что обеспечивает статистическую достоверность и корректность результатов;

повторные исследования содержания и запасов гумуса в почвах, которые целесообразно проводить с учетом периода стабилизации изменений содержания и качественных показателей гумуса, вызванных использованием контролируемого агротехнического приема; этот период составляет 5... 10 лет, и, следовательно, повторные анализы проводят не чаще, чем прохождение звена или ротации севооборота;

использование наиболее отработанного и информативного метода И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой для изучения фракционно-группового состава; другие методы фракционирования можно применять как дополнительные;

исследование содержания, запасов и качественных показателей гумуса по всему органическому профилю почв;

исследование гумусового состояния в комплексе с изучением факторов и условий непосредственного воздействия; в частности, необходимо учитывать урожай основной и побочной продукции, биомассы растительного опада, корневых и пожнивных остатков; определение рН, гидролитической кислотности, степени насыщенности почв основаниями, содержание Na в поглощающем комплексе; определение актуальной и потенциальной биологической активности почв.

Приведенные программные блоки по контролю гумусового состояния

почв в агроэкологическом мониторинге не являются исчерпывающими. Они по мере накопления новой информации нуждаются в дальнейших корректировке, уточнении, совершенствовании. Тем не менее реализация вышеизложенных унифицированных программных положений в различных регионах позволяет в сравнительно непродолжительные сроки оценить направленность и степень изменения количественных и качественных характеристик гумуса почв, обосновать целесообразные пути регулирования его важнейших свойств и др.

Рассматривая агроэкологический мониторинг относительно проблемы почвенного гумуса, следует учитывать, что данные фракционно-группового состава позволяют выявить генетические особенности гумуса различных почв, но малоприспособлены для оценки изменения природы гумусовых веществ под влиянием различных факторов, даже при длительном воздействии земледельческих приемов. Поэтому направленное регулирование количества и качества гумусовых соединений требует разработки методов диагностики их изменений под влиянием различных факторов техногенеза.

Самыми сложными при этом являются разработка экологических критериев оценки деградации гумусовых соединений и нормирование техногенных нагрузок на почвы и другие компоненты агроландшафта. В значительной степени они обусловлены негативными результатами часто необоснованного, а нередко и агрессивного техногенного воздействия на компоненты биосферы (почву, растительность, природные воды ИТ. д.).

Отсюда возникает острая необходимость проведения комплексных эколого-химических исследований данного явления на разных уровнях организации вещества. Для отдельных экосистем и ландшафтов следовало бы провести соответствующую экологическую экспертизу.

Своеобразным, уникальным природным индикатором, способным адекватно отразить воздействие продуктов техногенеза (в частности, токсикантов, а также отдельных приемов и способов земледелия и химизации на экосисте-

мы), являются гумусовые соединения почв, в которых биогеохимические потоки вещества и энергии не только «замыкаются», но и своеобразно трансформируются.

Исследование состава, свойств и структурных особенностей гумусовых кислот, фульвокислот и их фракций основных типов почв, определение изменений гумусовых кислот под влиянием микроорганизмов и различных приемов интенсивного земледелия с применением комплекса методов физико-химического анализа позволяют рекомендовать для решения почвенно-генетических и почвоохранных задач, для целей экологической экспертизы систему структурно-статистических диагностических показателей трансформационных изменений гумусовых веществ под воздействием природных и техногенных факторов. Предлагаемая система состоит из пяти блоков (элементный и функциональный анализ, спектрофотометрия в видимой области, ИК-спектроскопия, дериватографический анализ, пиролизическая масс-спектрометрия), каждый из которых, в свою очередь, включает от трех до семи подблоков.

Гумусовое состояние может быть оценено структурно-статистическими параметрами, установленными на основе каждого метода. Наиболее полную информацию получают при использовании совокупной системы структурно-статистических диагностических показателей, устанавливаемых на основе комплекса методов физико-химического анализа.

Для количественной оценки степени деградации рекомендуют использовать наиболее обобщающие и информативные параметры (табл. 19.4).

19.4. Степень деградации гумусовых кислот дерново-подзолистых почв, % к гумусовым кислотам недеградированных почв

Диагностический показатель	Степень деградации		
	слабая	средняя	сильная
Содержание, ат. %*:			
С	85...90	75...85	75
Н	85...90	80...85	80
Степень окисленности	80...85	75...80	75
Атомное отношение Н/С	80...85	75...80	75
Отношение алифатических аминокислот к сумме	80...85	75...80	75

Продолжение

Диагностический показатель	Степень деградации		
	слабая	средняя	сильная
ароматических и гетероциклических			
Отношение гуматов к гумусовым кислотам	80...85	75...80	75
Потеря массы органического вещества в результате термодеструкции	70...75	65...70	65
Соотношение периферических и центральной частей	85...90	80...85	80
Соотношение неароматических и ароматических соединений	80...85	75...80	75

*Атомные проценты.

Параметры деградации гумусовых соединений представлены в виде относительных единиц, поскольку абсолютные значения критериев деградации существенно варьируют по типу почв и по гранулометрическому составу. При этом за 100 % принимают значения показателей фоновых недеградированных гумусовых соединений. Установленные значения показателей деградации следует корректировать с учетом поправочных коэффициентов, отражающих степень деградации гумусовых соединений в зависимости от гранулометрического состава почв (табл. 19.5).

19.5. Поправочные коэффициенты для оценки степени деградации гумусовых соединений почв разного гранулометрического состава

Степень деградации	Гранулометрический состав				
	Песок	Супесь	Легкие суглинки	Средние суглинки	Тяжелые суглинки и глины
Недеградированные почвы	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Деградация:					
слабая	1,25	1,25	1,10	1,05	1,05
средняя	1,45	1,30	1,20	1,25	1,15
сильная	1,60	1,45	1,30	1,35	1,20

В формировании экологически адаптированных систем земледелия большое значение придают биологическому азоту, вовлекаемому в сферу вещественно-энергетических преобразований в агроценозах посредством использования продукционных возможностей бобовых культур (главным образом многолетних трав). При расширенном воспроизвел -

стве плодородия почв вся технология возделывания бобовых культур и система удобрения должны способствовать максимальной симбиотической фиксации азота атмосферы и благодаря этому обеспечивать увеличение урожайности без применения азотных удобрений.

Без надежной информации о реальном вкладе биологического азота и органического вещества бобовых в различных почвенно-климатических условиях в зависимости от насыщенности севооборота бобовыми культурами и их видового состава трудно избежать негативных экономических и экологических последствий.

Для реализации потенциала биологического азота в практике земледелия необходима достоверная информация, позволяющая разработать систему оценочных показателей, основные из которых:

размеры азотфиксации бобовыми при различной их урожайности;

количество вовлекаемого атмосферного азота и поступление в почву органического вещества;

возможные урожайности зерновых за счет использования азота бобовых и потребность в минеральном азоте при возделывании культур по бобовым предшественникам.

Исходными данными для решения этих вопросов должны служить материалы агроэкологического мониторинга.

В севооборотах с бобовыми коэффициент азотфиксации определяют для оценки интенсивности азотфиксации различными группами бобовых в зависимости от изучаемых факторов, а главным образом для установления реального баланса азота почвы. С помощью коэффициента азотфиксации оценивают долю симбиотического азота, поступившего в почву с пожнивными остатками бобовых (приходная статья), а также значение отчуждения бобовыми азота из почвы и удобрений (расходная статья). Для культуры бобовых вынос азота N^B определяют с поправкой на азотфиксацию (между тем этим требованием часто пренебрегают) по формуле

$$N^B = N_y (1 - K\Phi),$$

где N_y — общий азот в урожае (основная и побоч-

ная продукция), кг/га; $K\Phi$ — коэффициент азотфиксации.

Установлено, что в вариантах опыта с внесением азотных удобрений (особенно в повышенных дозах) коэффициент азотфиксации у бобовых значительно снижается. И в таких случаях вынос азота и удобрений из почвы соответственно возрастает, а поступление симбиотического азота в почву уменьшается.

Для однолетних бобовых культур массу органического вещества, общего и симбиотического азота, поступающую в почву, определяют ежегодно в конце вегетации, для многолетних бобовых трав — в год распахивания их пласта.

Органическое вещество бобовых, поступающее в почву, состоит из массы пожнивных и корневых остатков в слое 0...40 см и активного органического вещества, выпадающего из непосредственного учета (мелкие живые и отмершие корешки, клубеньки, корневые экссудаты и т. д.). Учет в этом случае ведут косвенно, вводят поправочные коэффициенты.

Практически выполняется следующая процедура. Первоначально учитывают корневую массу в слое почвы 0...20 и 20...40 см, отмывая корни от почвы на ситах с отверстиями 1,5...2,0 мм. Далее полученную учетную массу стерни и корней умножают на поправочный коэффициент. В итоге обеспечивается относительная полнота учета всей органической массы бобовых, поступающей в почву.

Ориентировочные поправочные коэффициенты на полновесность органической массы с учетом мощности корневых систем различных видов групп бобовых принимают следующие:

Многолетние бобовые травы	2,0
Бобово-злаковые смеси с долей бобового компонента более 50 %	1,8
Люпин кормовой, сераделла, кормовые бобы (на сено, зеленый корм, силос)	1,6
Зернобобовые	1,4
Однолетние бобово-злаковые травы	1,3
То же, с долей бобового компонента более 25...40%	1,5

Высокая эффективность действия бобовых предшественников на последующие культуры объясняется не только количеством биологического азота

(прямой фактор), но и массой синтезированного органического вещества в почве (косвенный фактор), улучшающей ее структуру и водно-физические свойства. В результате обеспечивается более продолжительный временный эффект действия азота бобовых по сравнению с азотом минеральных удобрений.

В связи с этим важно перед посевом зерновой культуры при расчете оптимальных доз азотных удобрений после бобовых учитывать не только содержание минерального азота в почве, но и азот, используемый последующей культурой в результате минерализации органической массы бобовых, поступившей в почву.

Важнейший показатель плодородия, определяющий урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность действия удобрений, — содержание подвижного фосфора в почве, что также относится к объектам агроэкологического мониторинга.

Задача состоит в том, чтобы достичь в почве такого содержания фосфора, при котором он не являлся бы фактором, ограничивающим урожай.

Первая часть проблемы — создание определенного количества фосфора в почве — обоснована исследованиями системы «почва — удобрения — растения». Установлено, что для обеспечения потребности растений первостепенное значение имеет концентрация фосфора в почвенном растворе у поверхности корней. Степень концентрации зависит от поглощения фосфора корнями растений и восстановления ее за счет перехода фосфора из твердой фазы. Чем больше запас ионов, способных к обмену между твердой и жидкой фазами почвы (фактор емкости), чем больше их подвижность (фактор интенсивности), тем быстрее концентрация восстанавливается, а растения лучше обеспечиваются фосфором.

Очевидно, что для нормального роста и развития растений почва должна иметь такой запас фосфора, который обеспечивает высокую интенсивность перехода фосфат-ионов из твердой фазы в раствор и устойчивое снабжение поверхности корней потоком ионов со скоростью, адекватной скорости поступления фосфора в корни.

Запас подвижных фосфатов (фактор емкости) для каждой почвенной разновидности определяют стандартным методом.

В системе агроэкологического мониторинга для решения вопросов оптимизации фосфорного питания растений можно применять также методы растительной диагностики, основанные на результатах физиологических и агрохимических исследований (определенная зависимость химического состава растений по фазам и периодам вегетации от степени удобренности культур), которые используют во многих странах. Практический опыт проведения растительной диагностики показывает, что реакция возделываемого растения на поступление и потребление питательных веществ проявляется довольно быстро и достаточно точно отражает их содержание.

Очевидно, что эколого-агрохимическая оценка фосфорных удобрений должна содержать не только сведения об основном питательном элементе — фосфоре, но и о наличии в составе удобрения примесей, представляющих опасность для окружающей природной среды. Тяжелые металлы, фтор и другие компоненты необходимо определять в самих удобрениях, в почве в случае их выявления и в растительной продукции по наиболее контрастным вариантам.

В улучшении плодородия почв, повышении продуктивности возделываемых культур особое значение имеют органические удобрения.

Будучи важным источником пополнения запасов доступных растениям питательных веществ, они оказывают положительное мелиоративное влияние на почву, способствуя, в частности, оптимизации ее гумусового состояния. Известно положительное влияние органических удобрений в нейтрализации токсических свойств тяжелых металлов в результате связывания их в малодоступные соединения, ослаблении токсического действия других химических элементов. Например, в Японии содержание кадмия в рисе снижалось при внесении птичьего помета, компоста или муки из рисовой соломы. Уменьшение токсичности соединений хрома отмечено при внесении торфа или осадка сточных вод в количестве не менее 100 т/га.

Несмотря на большое производственное значение органических удобрений, накоплено немало данных о больших потерях органикой питательных элементов, высоких концентрациях токсичных веществ в сельскохозяйственной продукции главным образом из-за нарушения технологии использования данного вида удобрений (особенно различных видов бесподстилочного навоза).

Концентрация животноводства, развитие его на промышленной основе коренным образом изменили структуру и качество органических удобрений. Сократилась доля подстилочного навоза (до 20 % общей массы); одновременно увеличился выход бесподстилочного полужидкого и жидкого навоза и навозных стоков.

Применение высоких доз бесподстилочного навоза сопровождается накоплением фосфора в почве, а также повышением его содержания в грунтовых водах.

Из применяемой в качестве удобрений органики наибольшую опасность для окружающей среды могут представлять осадки сточных вод. Применение их в качестве удобрения возможно в научно обоснованных дозах только после тщательного химического анализа осадков и санитарной проверки на специальных площадках.

Учитывая возможность загрязнения окружающей среды, необходим постоянный контроль за качеством органических удобрений, содержанием в них токсичных веществ, а также накоплением последних в почве и растениях.

Расширенное воспроизводство плодородия почв, будучи одной из важнейших природоохранных задач, предусматривает постоянную заботу о пополнении запасов гумуса, что возможно при максимальном использовании различных видов органических отходов в качестве удобрений. Наблюдается прямая связь — чем больше внимания уделяют грамотному использованию навоза и других органических удобрений, тем выше культура земледелия. Нарушение научно обоснованных рекомендаций по приготовлению, хранению и внесению органических удобрений не только существенно снижает их эффек-

тивность, но и заметно повышает вероятность загрязнения природных комплексов и их составляющих.

Сообразуясь с требованиями экологической безопасности, необходим обязательный контроль по основным блокам компонентам агроэкосистем. Различные виды органических удобрений необходимо анализировать на содержание в них макро- и микроэлементов, патогенной микрофлоры и яиц гельминтов. В нетрадиционных видах органики (сапропели, всевозможные компосты, сырьем для которых служат отходы промышленных и сельскохозяйственных предприятий) следует дополнительно определять содержание тяжелых металлов и остаточных количеств пестицидов.

Закономерности поведения в объектах внешней среды (атмосфера, вода, почва, растение) большого набора химических средств защиты растений, регуляторов роста, ингибиторов, дефолиантов и десикантов, а также азотсодержащих токсикантов (нитраты, нитриты, нитрозоамины) и тяжелых металлов достаточно хорошо изучены в модельных экспериментах.

Установлены концентрации названных веществ и препаратов, вызывающие гибель 50 % подопытных животных (ЛД₅₀); выявлены периоды полураспада химических соединений в объектах внешней среды (T_{1/2}) и разложения на 80 и 100 % (T₈₀ и T₁₀₀). Для многих веществ известны закономерности динамики их трансформации и деградации в почве и растениях; наиболее существенные метаболиты; разработаны нормативы предельно допустимых концентраций токсикантов в атмосфере, воде и почве (ПДК) и максимально допустимые уровни их содержания в растениеводческой продукции (МДУ), а также методы определения остаточных количеств пестицидов в объектах среды.

Однако этого пока недостаточно для того, чтобы уверенно рекомендовать использование агрохимикатов в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Суть вопроса в том, что вышеназванные параметры практически не изучены при комплексном применении средств химизации. В практике же земледелия очень редки

случаи, когда используют какой-либо один препарат. Обычно употребляется комплекс средств химизации, применяемых или совместно (в виде баковых смесей), или последовательно с короткими интервалами. Как в том, так и в другом случае агрохимикаты в почве и растениях вступают в сложные взаимодействия, характер и направленность которых могут существенно отличаться (антагонизм, синергизм, аддитивизм), что в конечном счете меняет установленные для использовавшихся в чистом виде «индивидуальных» веществ закономерности.

При комплексном применении средств химизации возникают специфические вопросы суммарной токсичности почвы, вредности (или безвредности) растениеводческой продукции, которые невозможно определить традиционными методами. Остаточные количества всех применявшихся препаратов могут быть на уровне МДУ, однако имеет ли место синергический эффект, однозначно ответить сегодня невозможно.

Все это объективно диктует необходимость проведения в стационарных длительных опытах или на полигонах агроэкологического мониторинга всесторонних исследований, позволяющих получить обоснованные сравнительные характеристики неодинаковых по степени «насыщения» агрохимикатами систем комплексного применения средств химизации в севооборотах разных типов.

Важный показатель — динамика содержания пестицидов в почве и растениях. Для изучения динамики пробы отбирают, как минимум, в 3...4 срока: первый — в день обработки (исходное содержание), а далее через 3...5, 15...30 и 50...60 сут после обработки, а также при уборке урожая. Наименьшие временные интервалы берут при использовании нестойких препаратов, наибольшие — стойких.

Остаточные количества пестицидов в почве и растениях определяют официальными методами, утвержденными уполномоченными на то органами (Госхимкомиссия, Минздрав и др.). Оценивают получаемую информацию сравнением с нормативами ПДК и МДУ в почве и растениях.

Параллельно с остаточным количеством пестицидов в растительных образцах на основе стандартных методов исследуется содержание азотсодержащих токсикантов (NO^{-2} , NO^{-3} , нитрозамины), тяжелых металлов, фтора, мышьяка, хлора, ряда микроэлементов.

Важное значение в агроэкологическом мониторинге придается определению суммарной вредности (или безвредности) растениеводческой продукции.

Суммарную фитотоксичность почвы оценивают, как правило, методом биоиндикации, разработанным в ВИУА.

Микрофлора почвы — основной фактор почвообразовательного процесса. Качество почвы определяется ее плодородием, важнейшими показателями которого являются биомасса микроорганизмов, интенсивность протекающих в почве биохимических процессов, таксономический состав микрофлоры и ее функциональное разнообразие.

Закономерно, что одна из первоочередных задач заключается в оценке параметров биологической активности почв с разным плодородием, сформированным на основе различных систем земледелия в длительных стационарных опытах. Такие оценки проводят на основных типах почв в различных по природным условиям земледельческих зонах.

Полученные таким образом результаты — исходная база для разработки критериев микробиологической оценки качества почвы и создания банков нормативной информации, необходимых для управления почвенным плодородием и охраной окружающей природной среды. Современные возможности накопления, обработки, хранения и предоставления информации открывают широкие возможности для более обоснованного, а главное, конструктивного решения управленческих задач в области почвенного плодородия.

Разработка качественных и количественных параметров, нормативной базы биологических свойств почвы позволяет развернуть систематические наблюдения за их изменениями в процессе сельскохозяйственного производства.

Соответственно изложенному представляется, что цели микробиологического мониторинга (как составной части агроэкологического мониторинга) можно определить следующим образом:

1. Получение информации по основным параметрам биологических свойств почвы в различных регионах страны.

2. Оценка соответствия почв нормативным требованиям.

3. Прогноз возможных путей эволюции почв под влиянием тех или иных агротехнических мероприятий.

4. Выдача нормативной информации для разработки корректировки агротехнических приемов, обеспечивающих расширенное воспроизводство почвенного плодородия и высокую продуктивность агроэкосистем.

Таким образом, микробиологический мониторинг призван выполнять контрольную функцию качества почвенной среды и предоставлять нормативную информацию, необходимую для разработки экологически безопасных агротехнологий.

19.4. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОВЕДЕНИЮ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Связь между различными компонентами агроэкосистемы (почва, вода, растения и др.), как и биосферы в целом, осуществляется через биогеохимические круговороты, представляющие собой синтез согласованных во времени и в пространстве трансформационных и миграционных потоков веществ, носящих циклический характер. Следовательно, для достижения целей агроэкологического мониторинга и последующей разработки методов исследований конкретных элементов (веществ) актуально биогеохимическое районирование территорий.

Структура агроэкологического мониторинга включает универсальные параметры, характеризующие каждый компонент агроэкосистемы. Важнейшая задача — получение высококачественной продукции — требует всестороннего и разноуровневого контроля. Токсичные вещества, поступающие в

результате деятельности человека в агроэкосистемы через атмосферу, гидросферу и почву, включаются в биогеохимические круговороты, транспортируются по цепочке: растения — корма — продукты питания — организм животных — организм человека. Очевидно, что, будучи одним из обязательных условий формирования системы целенаправленного управления производством экологически чистой сельскохозяйственной продукции, агроэкологический мониторинг должен основываться и на знании процессов биогеохимического круговорота веществ. При этом важна «емкость» мониторинга. В перечень показателей, подлежащих контролю, обязательно входят элементы, влияющие опосредованно или прямо на организм человека и животных (бериллий, никель, селен, фтор, хром и др.). Возможное наличие биогенных элементов, тяжелых металлов и других компонентов следует контролировать в поливной и питьевой воде, растительной и животной продукции, лекарственном сырье; необходим также контроль за качеством продукции в процессе переработки и т. д. По сути дела, подконтрольной должна быть вся трофическая цепь.

Для объективного учета биогеохимических особенностей территорий при проведении мониторинга целесообразно основываться на многолетних сведениях, в том числе исторических (характер землепользования за период в 50 лет и более, начало эксплуатации земельного фонда, динамика уровней химизации и т. п.); агрохимических (сравнение с ранее взятыми почвенными монолитами анализов современных почв, особенно по содержанию микроэлементов, тяжелых металлов и др.); о климатических условиях, развитии процессов химического загрязнения воздуха и водных источников; о наличии естественных биогеохимических провинций.

Среди химических элементов, слагающих нашу планету, живое вещество и почвенный покров, 60...70 называют рассеянными (или следовыми), концентрация которых весьма мала и составляет $n \cdot 10^{-2}$... $n \cdot 10^{-5}$ %. Однако в пересчете на размеры земной коры нашей планеты общие запасы микроэлементов на Земле получаются весьма внушительными.

Исследования последних десятилетий позволили раскрыть исключительно важное значение рассеянных элементов в реализации функций и в процессах эволюции биоты, для продуктивности земледелия, здоровья людей. Однако, несмотря на довольно высокое общее содержание этих элементов, распределяются они неравномерно и проявляются в виде геохимических аномалий, образующихся под влиянием как естественных, так и антропогенных факторов (Ковда, 1985).

В качестве показателей биогенного круговорота в различных природно-хозяйственных зонах могут служить соотношение концентрируемых и деконцентрируемых растениями элементов (по отношению к почве), а также соотношение растений-концентраторов и деконцентраторов (Глазовская, 1987).

Биологическое поглощение микроэлементов растениями можно оценивать с помощью коэффициентов биологического поглощения, которые рассчитывают по отношению содержания микроэлементов в растениях к содержанию их в почвах (Сзола : Спочва). На основе коэффициентов биологического поглощения выделены растения-индикаторы (растения, способные накапливать в больших количествах тот или иной элемент).

В результате сложных многовековых геохимических процессов поверхность и почвенный покров континентов приобрели специфические геохимические черты. Возникли и сформировались различные геохимические провинции и области, характеризующиеся определенными составом мигрирующих соединений, условиями реакции среды и окислительно-восстановительным режимом, накоплением и выносом макро- и микроэлементов. Исследованиями М. А. Глазовской, Н. Г. Зырина, А. И. Обухова, А. И. Перельмана установлено, что физиологическое и агрономическое значение имеет не валовое содержание микроэлементов, а их подвижные формы в почве. Это привело к выводу о необходимости глубокого комплексного исследования биогеохимической географии микроэлементов, форм их соединений, закономерностей миграции и аккумуляции, плодородия

почв и их значения в гигиене и здоровье человека.

Практически для каждого элемента целесообразно различать четыре уровня концентрации: дефицит элемента (организм «страдает» от недостатка элемента); оптимальное содержание (отмечается хорошее состояние организма); допустимые концентрации (начинают появляться депрессивные явления в организме); губительные (фатальные) для данного организма.

Приходится, однако, признать, что в России пока еще отсутствует надежная организационная система, способная обеспечить жесткие ограничения и серьезный контроль за содержанием тяжелых металлов и других токсичных веществ в кормах для животных, продуктах питания и т. д. Трудности здесь обусловлены прежде всего слабой изученностью процессов миграции в системе «почва — растение», а следовательно, сложно сформировать хорошую исходную информационную базу.

Введение системы действенного контроля и обоснованных норм — сложная комплексная задача, требующая разносторонних исследований и участия специалистов разных профилей.

Агроэкологический мониторинг при этом должен включать:

биогеохимическое обследование почв по зонам с целью уточнения границ и оценки состояния биогеохимических провинций и районов на данный период;

определение как валового содержания элементов, так и их подвижных форм с помощью современных инструментальных методов для последующего формирования банков и баз данных;

определение элементного химического состава основных сельскохозяйственных культур по регионам для выявления родовой и видовой биогеохимической специфики растений зональных агроценозов; выявление растений-индикаторов;

установление средних статистических показателей содержания элементов в различных типах почв в качестве «фоновых» характеристик;

определение подвижных форм макроэлементов и тяжелых металлов в об-

разцах почв по методике, исключающей изменения подвижности элементов в результате химических и биологических процессов при хранении образцов;

контроль динамики анионов в почве, оказывающих значительное влияние на подвижность металлов.

19.5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Основные задачи оценки сводятся к следующим:

выявление и комплексная характеристика источников загрязнения природной среды;

слежение за загрязнителями по всем возможным каналам их миграции, оконтуривание зон вероятного влияния на живые организмы, выявление участков депонирования загрязнителей;

биогеохимическая оценка миграции и концентрации загрязнений как непосредственно в зонах загрязнения, так и при переносе их по трофическим цепям;

определение динамики загрязнения среды, скорости и объемов поступления, распространения и выведения изучаемых соединений; получение прогнозных материалов.

В ряду перечисленных задач последние две имеют большое значение для проведения соответствующих экспертных работ, обязательным требованием к которым является высокая достоверность.

Качество получаемых оценок определяется качеством мониторинга (планирование и выполнение полевых и лабораторных работ, их многозвенность, этапность, метрологическое обеспечение, наличие необходимой нормативной базы, состав и квалификация специалистов).

Первоначально проводят рекогносцировочные обследования состояния почвенного покрова территории и по их результатам делают заключение, в котором дают экологическую оценку состояния почвенного покрова, а также делают выводы о целесообразности или нецелесообразности более детальных полевых исследований. Принадлежность

элемента-загрязнителя к тому или иному классу опасности определяют в соответствии с принятыми стандартами.

Различают следующие виды экологического нормирования тяжелых металлов: ландшафтное, биотическое, почвенное.

Несмотря на применение все более совершенных аналитических методов для определения микро- и ультрамикрочисел элементов и веществ, отмечается тенденция увеличения ошибочных результатов. Выход здесь один: строгая унификация всех процедур проведения анализа, регламентация качества используемого оборудования, посуды, реактивов, организация строгого метрологического контроля проводимых анализов посредством использования разнообразных поверочных средств, соблюдение требований к чистоте воды, реактивов, посуды, наконец, воздуха в лабораторном помещении. Все это позволяет уменьшить и исключить ошибки опытов, а в конечном счете неслучайную постоянную погрешность определения микро- и ультрамикрочисел химических элементов.

19.6. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

В районах орошаемого земледелия требуется более обстоятельный учет влияния орошения, средств химизации и других факторов на плодородие почв, урожайность и качество получаемой продукции, минерализацию и загрязнение поверхностных и грунтовых вод.

Задача мониторинга заключается в контроле, оценке, прогнозировании и управлении состоянием основных показателей плодородия почвы и гидрогеологической среды с целью получения высоких и устойчивых урожаев хорошего качества при минимальных расходах воды и удобрений на единицу продукции, а также предотвращения загрязнения окружающей природной среды.

Мониторинг, осуществляемый на базе длительных стационарных опытов и специальных полигонов, целесооб-

разно сопровождать лизиметрическими и микрополевыми опытами с меченым азотом.

Агроэкологический мониторинг проводят во всех зонах орошаемого земледелия с учетом внутризональных почвенных и гидрогеологических особенностей. Набор контролируемых показателей в разных почвенно-климатических зонах может варьировать.

Для изучения динамики содержания подвижных форм элементов питания в почве почвенные образцы необходимо отбирать в основные фазы развития тех или иных культур. Содержание нитратного и аммонийного азота определяют в слоях 0...30, 31...40, 41...60, 61...80, 81...100 см. В начале и в конце вегетационного периода содержание нитратного азота определяют и в более глубоких слоях (100...120, 121...140, 141...160, 161...180, 181...200 см или же до уровня грунтовых вод при близком их стоянии).

Содержание подвижного фосфора и калия по основным фазам развития фиксируют в слоях 0...30 и 31...40 см. Содержание подвижного фосфора и калия, форм этих элементов и степень их подвижности в указанных слоях почвы и до метровой глубины измеряют в начале и в конце вегетации первой и последней культур севооборота.

Содержание подвижных форм микроэлементов, фтора и тяжелых металлов, нитрификационная способность и биологическая активность почвы, содержание легкогидролизуемого азота диагностируют в пахотном слое почвы в начале активной вегетации культур.

В зонах распространения засоленных почв в начале и в конце периода вегетации находят общее содержание водорастворимых солей и состав их в слоях 0...30, 31...40, 41...60, 61...80, 81...100 см или до горизонта грунтовых вод (при глубине их залегания 1,5...2,0 м). При больших глубинах стояния грунтовых вод (3...4 м и более) замеры проводят в специальных скважинах. В основании фазы развития культур определяют общее содержание солей, их состав (в том числе содержание нитратов). При наличии дренажной сети фиксируют степень минерализации и состав солей, содержание питательных веществ, остаточное

количество пестицидов в дренажных водах.

В зонах распространения солонцеватых почв и солонцов после проведения специальных мелиоративных приемов (внесение гипса или фосфогипса, плантажная или трехъярусная вспашка и другие мероприятия) в начале и в конце вегетации устанавливают содержание обменного натрия в мг-экв/100г и в процентах от емкости поглощения в слоях 0...30, 31...40 и 41...50 см.

Кислотность почвы (рН водной и солевой вытяжек) в пахотном слое выщелоченных черноземов, серых лесных и дерново-подзолистых почв следует оценивать в начале вегетации.

При выращивании сельскохозяйственных культур по технологиям, предусматривающим применение пестицидов, в конце вегетационного периода в пахотном слое почвы диагностируют содержание остатков этих препаратов и их метаболитов, нитрозоаминов.

Объемную массу пахотного слоя почвы соотносят с началом и с концом вегетационного периода и проводят по почвенному профилю до глубины 100 см. При этом учитывают продолжительность ротации севооборота. Микроагрегатный состав пахотного и подпахотного слоев (0...30 и 31...50 см) устанавливают в начале вегетации первой и последней культур севооборота, а также культур, размещаемых по пласту и обороту пласта люцерны и клевера.

В условиях орошения необходим постоянный контроль за влажностью почвы. Отбирают образцы послойно через 10 см до метровой глубины в период появления всходов, затем через 7...10 сут в период вегетации и перед уборкой, а также перед и после полива.

Валовое содержание N, P²⁰⁵ и K²⁰, содержание гумуса, наименьшую влагоемкость (НВ), максимальную гигроскопичность, влажность устойчивого завядания, плотность твердой фазы (удельная масса) фиксируют в пахотном (0...30 см) и нижележащих слоях до глубины 1 м (по генетическим горизонтам с указанием их мощности или в слоях 30...40, 41...60, 61...80, 81...100 см) в начале вегетации первой и в конце вегетации последней культур севооборота.

Фракционный состав гумуса, ем-

кость поглощения, состав обменных оснований, гидролитическую кислотность (в кислых почвах), карбонатность, валовое содержание Ca, Mg, S, Al, Fe, микроэлементов, фтора, тяжелых металлов определяют в пахотном слое почвы в начале и в конце ротации севооборота.

Для диагностики указанных показателей в необходимые сроки с помощью бура отбирают образцы почвы, составленные смешиванием пяти индивидуальных образцов с пахотного слоя и трех с нижележащих слоев. Влажность почвы определяют в индивидуальных образцах, взятых с трех скважин на делянке (полигоне).

Оценивают также содержание макро- и микроэлементов в растениях в основные фазы их развития; содержание в получаемой продукции нитратов, нитритов, нитрозоаминов, остаточного количества пестицидов и их метаболитов, фтора, тяжелых металлов.

Для осушенных почв мониторинг должен включать наблюдения за состоянием и изменением их во времени и в пространстве, оценку состояния почвенного покрова и прогноз возможных его изменений; разработку научно обоснованных приемов регулирования состояния почв и режимов, непосредственно определяющих их плодородие.

На осушаемых землях основными процессами, приводящими к отрицательным экологическим последствиям, являются загрязнение растительной продукции нитратами, а кормов избыточным количеством калия, загрязнение почвы тяжелыми металлами, пестицидами и другими нежелательными компонентами. Особое значение приобретают процессы разрушения органического вещества, наблюдаемые прежде всего на торфяных почвах («сработка» торфа). Разрушение органического вещества приводит к потерям его, а с ним и элементов почвенного питания, обуславливает увеличение концентрации биогенных элементов, продуктов техногенеза в дренажных и грунтовых водах, близлежащих водоемах.

Особенностью осушенных почв является высокая степень подвижности элементов питания и связанное с этим более интенсивное вымывание их в окружающие водоемы и т. д.

19.7. ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Комплексная информация, получаемая в длительных и краткосрочных опытах, входящих в систему полигонного и локального агроэкологического мониторинга, представляет собой достаточно сложную структуру, включающую широкий набор количественных и качественных характеристик, всесторонне описывающих растения и среду их обитания. Полноценная ее систематизация, обработка и анализ, эффективное и оперативное использование для последующего решения различных функциональных задач возможны при организации упорядоченных информационных потоков в виде баз или банков данных. Необходима формализация экспериментального материала, что, в свою очередь, предполагает проведение классификации информации, ее структурирование и представление в достаточно унифицированных и по возможности гибких, легко модифицируемых формах (рис. 19.3, 19.4).

В соответствии с требованиями по проектированию баз данных в первую очередь разрабатывают концептуальную, логическую и физическую структуру и создают макеты таких баз. Должны быть определены общие принципы классификации информации и формы ее представления.

Опыты, проводимые в рамках полигонного мониторинга, объективно делят на краткосрочные и длительные. Анализ и оценка специфики опытов этих групп и получаемой на их основе информации, решаемых функциональных задач обуславливают целесообразность формирования баз данных по разделам «Краткосрочные опыты» и «Долгосрочные опыты».

Таким образом, база данных полигонного мониторинга включает следующие предметные разделы: каталоги опытов; описание краткосрочных опытов; описание длительных опытов; материалы наблюдений на полигонах с автоматизированными системами контроля.

Организация любой базы данных требует наличия соответствующих клас-

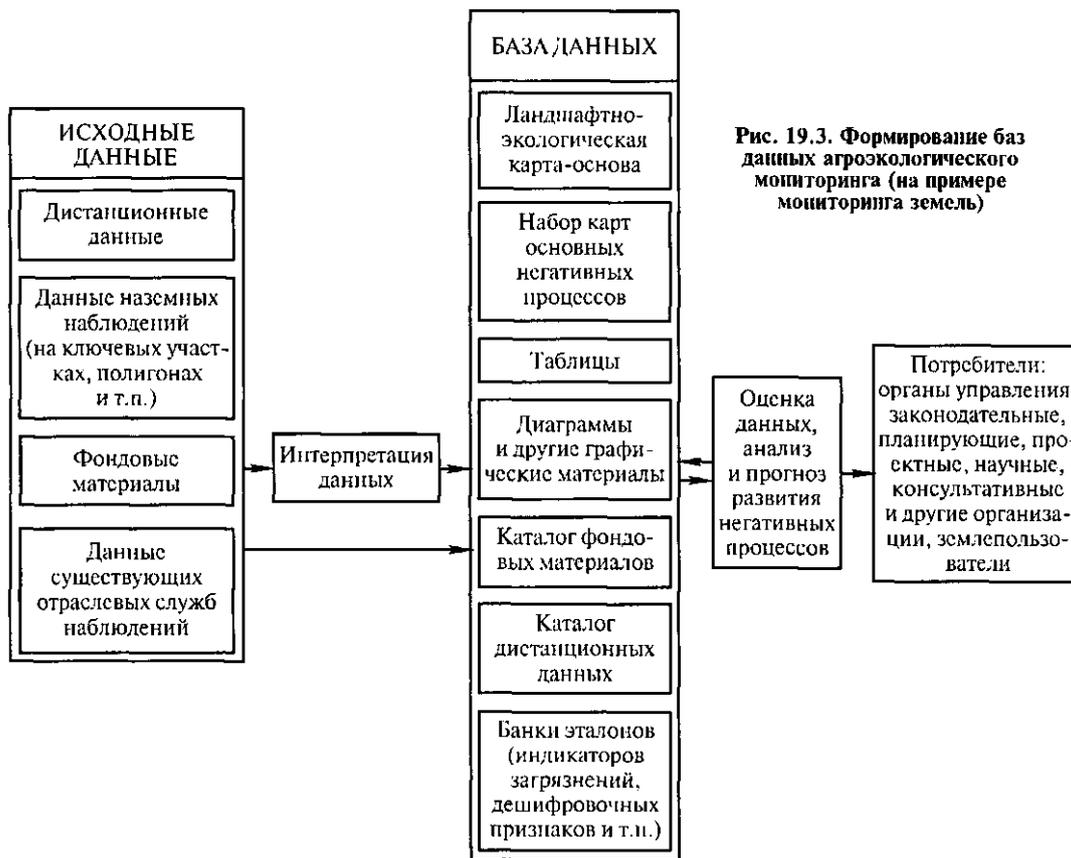


Рис. 19.3. Формирование баз данных агроэкологического мониторинга (на примере мониторинга земель)

сификаторов. Входящий в состав рассматриваемой базы данных локальный классификатор основан на имеющихся отраслевых данных.

При проектировании базы данных разработчики, исходя из пожеланий заказчика, предусматривают возможность ввода непосредственно агрегированной информации по специально составляемой форме. В итоге создаваемая по материалам длительных опытов база данных содержит паспорт севооборота, первичную информацию по ротациям и полям севооборота и агрегированную информацию.

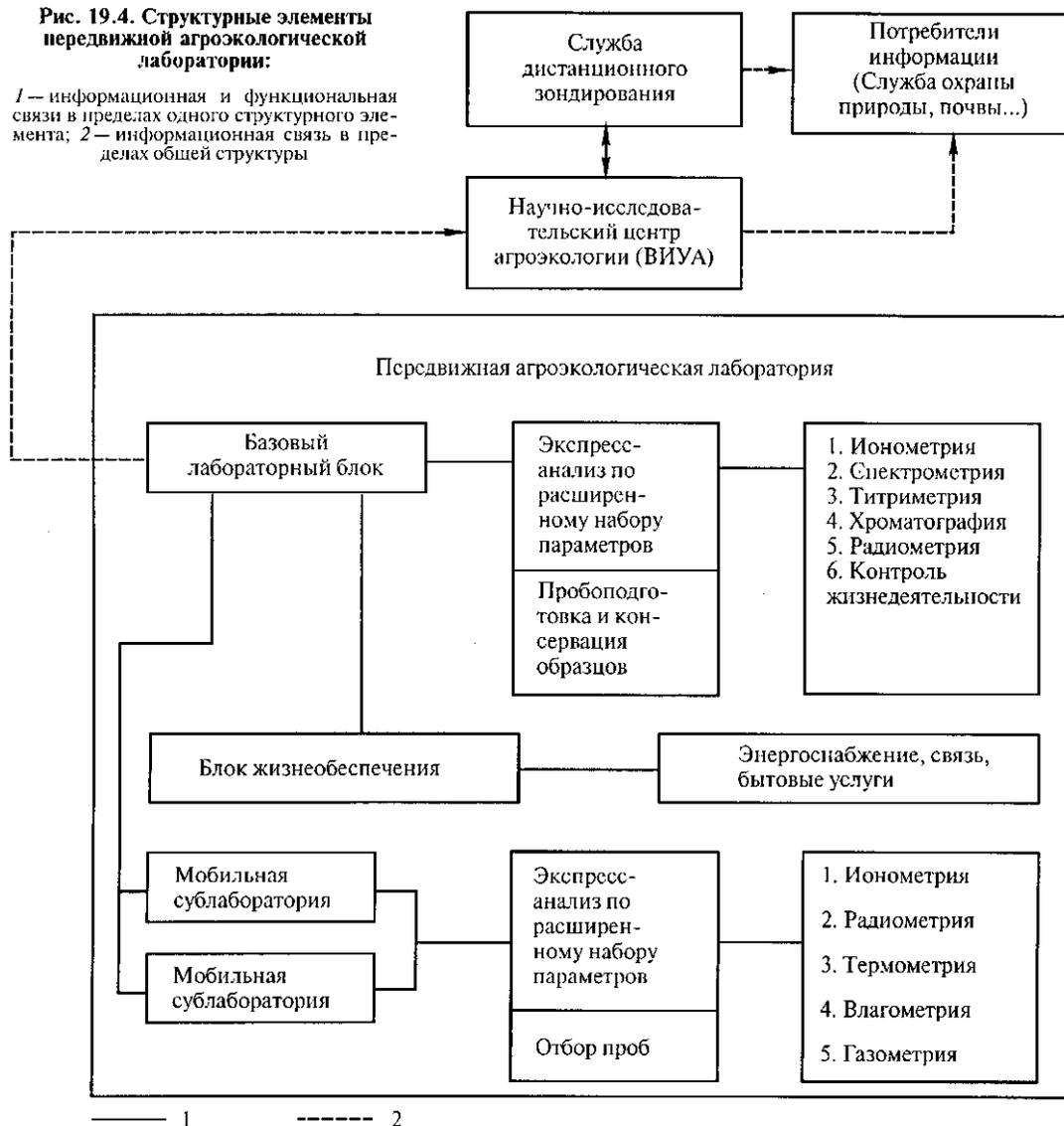
Рассматривая динамичную часть базы данных полигонного мониторинга, уместно отметить следующее. Первичный съем определенного объема информации с опытов, оснащенных автоматизированным информационно-из-

мерительным комплексом, проводят с помощью системы датчиков, которые передают ее на установленную ЭВМ центрального поста. Здесь осуществляются: прием информации с датчиков; фильтрацию данных и преобразование их по градуировочным кривым; формирование локальной базы данных и их визуализацию; подготовку сведений полигонного мониторинга для ЭВМ научного учреждения; формирование архивов. На этом уровне целесообразны первичный анализ данных, подготовка и выдача оперативных справок о состоянии агроэкосистемы. Далее накопленную информацию направляют в головное научное учреждение, где вводят в общую базу данных полигонного мониторинга.

Форма представления результатов исследований, полученных в краткос-

Рис. 19.4. Структурные элементы передвижной агроэкологической лаборатории:

1 — информационная и функциональная связи в пределах одного структурного элемента; 2 — информационная связь в пределах общей структуры



рочных опытах системы агроэкологического мониторинга, охватывает все характеристики, фиксируемые при проведении эксперимента. При этом важно сочетать требование максимальной информативности с требованием минимизации объема выходных данных.

Имеющиеся формы отчетности отличаются следующими особенностями: в них учитываются требования к информации, получаемой на всех уровнях полигонного мониторинга;

они позволяют в полном объеме по-

мешать (вносить) в созданную структуру материалы всех «традиционных» краткосрочных и длительных экспериментов, которые проводили ранее и проводят в настоящее время на базе географической сети опытов, в Агротимслужбе с любыми культурами по любым темам в различных почвенно-климатических зонах страны;

частичная модификация разработанных форм, включение новых таблиц не приводят к разрушению или кардинальным изменениям создаваемой структу-

ры базы данных; имеется возможность вносить изменения и дополнения, а также расширять набор форм.

Весьма важна паспортизация опытов. Паспорт краткосрочного опыта содержит ряд обязательных реквизитов, в том числе наименование культуры, год учета, адресность опыта с указанием почвенно-климатической зоны и особенностей рельефа, подробное описание типа и подтипа почвы и генетических условий ее образования. В паспорте формируются общие задачи и цели конкретного исследования. Их излагают при этом как в сокращенном варианте (для последующей распечатки в каталоге опытов, выводимом на экран видеотерминала), так и в полном виде, выбираемом пользователем из классификатора в режиме диалога. Эту информацию дополняют сведениями об особенностях опыта.

Если опыт многофакторный (используют несколько предшественников, разные сорта или нормы посева и т. п.), то по каждому фактору составляют отдельный отчет.

В базе данных сосредоточивают также сведения о фенологических наблюдениях, состоянии растений в процессе онтогенеза, фитосанитарной обстановке.

Схема формирования базы данных предусматривает накопление информации об агрофизическом и агрохимическом состоянии опытных делянок, содержании токсичных веществ до, во время и после проведения эксперимента.

В базе данных урожай учитывают по основной и побочной продукции. Здесь представляют результаты химического анализа основной и побочной продукции по элементному составу и т. д.

В конечном счете обеспечивается достаточная полнота информации, получаемой в краткосрочных опытах различной тематической направленности.

Раздел длительных опытов содержит подробное описание результатов исследований в стационарах. Условно в нем можно выделить три основных подраздела: паспорт длительного опыта; информация по опытным полям, севооборотам, а также ежегодная, агрегированная информация.

Паспорт длительного опыта дополнительно к паспортным данным краткосрочного опыта включает материалы, характеризующие пространственно-временные особенности изучаемой системы севооборота. Для этого, например, в качестве обязательных характеристик фигурируют такие реквизиты, как вид севооборота, число полей в натуре, фактическое чередование культур в севообороте и заданное чередование их по годам.

В отличие от краткосрочного в схеме длительного опыта приводят среднегодовые дозы удобрений, мелиорантов и т. д., т. е. учитывают насыщенность севооборота по вариантам. Фиксируют изменение схемы опыта во времени по ротациям полей севооборотов.

Необходимость расчета продуктивности севооборота обуславливает перевод данных по учету урожая основной и побочной продукции в зерновые и кормовые единицы в автоматическом режиме. Поскольку все последующие наблюдения за изменением содержания элементов в растениях даются в пересчете на абсолютно сухое вещество, данные урожайности в обязательном порядке дополняют сведениями о содержании сухого вещества. Получаемая информация позволяет проводить комплексную оценку влияния изучаемых факторов во времени и в пространстве.

Соблюдение принципов гибкости системы хранения информации обеспечивает возможности ее дальнейшего увеличения и развития.

Подытоживая вышеизложенное, уместно обратить внимание на следующие обстоятельства. Рассмотренные сведения по агроэкологическому мониторингу относятся в первую очередь к отраслям растениеводства. Они, несомненно, позволяют получить важный и необходимый материал для серьезной экологизации этой области сельскохозяйственной деятельности. Вместе с тем пока еще не сложилась четкая система мониторинга применительно к животноводству с учетом возможных способов его ведения (пастбищное, стойловое), а также кормопроизводству. Представляется, что здесь в первую очередь необходимо грамотное обобщение и осмысление накопленных фактических

данных, что послужит реальным шагом к последующей выработке соответствующих методических рекомендаций. В принципе же система агроэкологического мониторинга распространяется на весь агропромышленный комплекс, на все его подсистемы, связанные с произ-

водством, переработкой и хранением продукции, материально-техническим обслуживанием и т. д. Только в этом случае концепция экологизации сельского хозяйства получит реальную и надежную основу для полноценного практического воплощения.

Глава 20

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИЙ

20.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обострение экологических проблем на части территорий России и, как следствие, ухудшение условий жизнедеятельности и состояния здоровья населения объективно обусловили необходимость законодательного введения правового статуса специальных зон с серьезными нарушениями окружающей природной среды.

В стране, несмотря на катастрофический спад производства, снижение его негативного воздействия на окружающую среду, а также на природоохранные мероприятия, осуществляемые Госкомэкологией, природоэксплуатирующими министерствами и ведомствами, общественными экологическими организациями, экологическая обстановка в наиболее населенных и экономически развитых регионах остается неблагоприятной, а загрязнение природной среды — высоким. Регионы с очень острыми экологическими ситуациями, при которых состояние природной среды начинает прямо угрожать условиям жизни населения, а отдельные экологические проблемы или их совокупность достигают кризиса, различаются механизмом возникновения и возможными мерами нейтрализации негативных последствий сложившейся на той или иной территории неблагоприятной обстановки. Поэтому выделение зон чрезвычайной экологической ситуации или зон экологического бедствия должно способствовать решению экологических проблем, например, путем приори-

тетного выделения финансовых и материальных ресурсов для внедрения соответствующих технологий производства, сооружений для очистки воздуха и воды, дополнительного строительства лечебно-оздоровительных объектов и др.

Согласно анализу, проведенному в середине 90-х годов, наиболее неблагоприятные экологические ситуации (острые и очень острые) на территории России отмечались на площади 2,5 млн км² (15% всей территории). С учетом же деградированных пастбищ эта площадь может достигать 18...20%. Общая численность городского населения, проживающего в экологически неблагоприятных районах, составляет 20%. Фактически в большинстве субъектов Федерации могут быть выделены собственные зоны экологического неблагополучия.

Далее приведена краткая характеристика экологических проблем, сложившихся в 13 регионах России, выделенных территории с очень острой экологической ситуацией (государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1991 году»).

Регион	Экологические проблемы, вызванные антропогенным воздействием
Кольский полуостров	Нарушение земель горными разработками, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение атмосферы, деградация лесных массивов и естественных кормовых угодий, нарушение режима особо охраняемых природных территорий
Московский	Загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, утрата продук-

Продолжение

Регион	Экологические проблемы, вызванные антропогенным воздействием
Северный Прикаспий	тивных земель, загрязнение почв, деградация лесных массивов Нарушение земель разработками нефти и газа, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение морей, истощение рыбных ресурсов, вторичное засоление и дефляция почв, загрязнение атмосферы, нарушение режима особо охраняемых территорий
Среднее Поволжье и Прикамье	Истощение и загрязнение вод суши, нарушение земель горными разработками, эрозия почв, оврагообразование, загрязнение атмосферы, обезлесение, деградация лесных массивов
Промышленная зона Урала	Нарушение земель горными разработками, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение почв, утрата продуктивных земель, деградация лесных массивов
Нефтегазопромисловые районы, Западная Сибирь	Нарушение земель разработками нефти и газа, загрязнение почв, деградация оленьих пастбищ, истощение рыбных ресурсов и промысловой фауны, нарушение режима особо охраняемых территорий
Кузбасс	Нарушение земель горными разработками, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение почв, утрата продуктивных земель, дефляция почв
Районы оз. Байкал	Загрязнение вод и атмосферы, истощение рыбных ресурсов, деградация лесных массивов, оврагообразование, нарушение мерзлотного режима почвогрунтов, особо охраняемых природных территорий
Норильский промышленный район	Нарушение земель горными разработками, загрязнение воздуха и вод, нарушение мерзлотного режима почвогрунтов, режима охраняемых лесов, снижение природно-рекреационных качеств ландшафта
Калмыкия	Деградация естественных кормовых угодий, дефляция почв
Новая Земля	Радиоактивное загрязнение
Зона влияния аварии на Чернобыльской АЭС	Радиационное поражение территории, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение почв
Рекреационные зоны побережья Черного и Азовского морей	Истощение и загрязнение вод суши, загрязнение морей и атмосферы, снижение и потери природно-рекреационных качеств ландшафта, нарушение режима особо охраняемых территорий

Законом «Об охране окружающей среды», введенном в действие в марте 1992 г., определены чрезвычайные экологические ситуации.

Так, согласно статье 58 этого закона «зонами чрезвычайной экологической ситуации являются участки территории Российской Федерации, где в результате хозяйственной и иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей природной среде, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетических фондов растений и животных».

В соответствии же со статьей 59 "того же закона «зонами экологического бедствия объявляются участки территории Российской Федерации, где в результате хозяйственной либо иной деятельности произошли глубокие необратимые изменения окружающей природной среды, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природного равновесия, разрушение естественных экологических систем, деградацию флоры и фауны».

Закбном «Об охране окружающей природной среды» предусмотрено, что зоны чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия объявляются постановлениями Государственной Думы либо указами Президента по представлению специально уполномоченными на то государственными органами Российской Федерации в области охраны окружающей природной среды на основании заключения Государственной экологической экспертизы.

Федеральным законом «Об экологической экспертизе» (статья 7) определены полномочия, права и обязанности федерального специально уполномоченного государственного органа в области экологической экспертизы. Статья 11 этого же закона устанавливает, что обязательной Государственной экологической экспертизе подлежат материалы комплексного экологического обследования участков территорий, обосновывающие придание таким территориям правового статуса зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия, а также программы реабилитации этих территорий.

Состояние окружающей природной среды и здоровья населения оценивают в соответствии с Критериями оценки

экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия, утвержденными в 1992 г.

В рамках Государственной комплексной научно-технической программы «Экологическая безопасность России» в 1993—1996 гг. проведена апробация названных критериев в Республиках Калмыкия и Якутия, в Астраханской, Иркутской, Московской, Пермской и Челябинской областях, в городах Ангарске, Дзержинске и Новочеркасске.

Несколько позднее (в 1995 г.) был принят еще один документ — Временный порядок объявления территории зоной чрезвычайной экологической ситуации. В этом документе, а также в приказе бывшего Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов № 113 (1996 г.) определены требования к материалам, представляемым на экологическую экспертизу. Они предназначены для органов государственной власти, общественных объединений, организаций и специалистов, участвующих в деятельности по приданию территории соответствующего статуса. Установлены также форма и состав материалов о состоянии окружающей природной среды и здоровья населения, структура и содержание проекта Федеральной программы неотложных мер по выводу территории из состояния чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия.

Результаты ранжирования территорий показали целесообразность законодательного закрепления наряду с зонами чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия также районов с напряженной экологической обстановкой (зон экологического риска), где в результате хозяйственной деятельности начались негативные изменения в состоянии окружающей природной среды и требуется проведение предупредительно-профилактических мероприятий.

Общим признаком территории с напряженной обстановкой предлагается считать наличие более высокого производственного потенциала, работающего преимущественно «на экспорт» (по отношению к данной территории) и мно-

гократно превосходящего по приведенному объему потребности территории. (Например, это относится к производству хлопка в Приаралье, к переработке полиметаллических руд в районе Норильска, к производству целлюлозы на берегу оз. Байкал и т. д.) Однако такой подход недостаточно обоснован и корректен. Добыча и переработка полиметаллов в Норильске обеспечивают потребность в них всей страны, а в самом Норильске они не нужны. В научно-методическом отношении более разумно, по-видимому, исходить из понятий (основываться на понятиях) «полная экологическая емкость территории» и «экологическая техноемкость территории». По Т. А. Акимовой и В. В. Хаскину (1994), полная экологическая емкость территории как природного комплекса определяется, во-первых, объемами основных природных резервуаров — воздушного бассейна, водоемов и водотоков, земельных площадей и запасов почв, биомассы флоры и фауны; во-вторых, мощностью потоков биогеохимического круговорота, обновляющих содержимое этих резервуаров, скоростью местного атмосферного газообмена, пополнения объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивностью биоты. Это показатель способности природной системы к регенерации изъятых из нее ресурсов и к нейтрализации вредных антропогенных воздействий. Согласно этим же авторам экологическая техноемкость территории (ЭТТ) — это обобщенная характеристика территории, количественно соответствующая максимальной техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени (годы) совокупность реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств.

По сути, ЭТТ характеризует способность природной системы к самовосстановлению и нейтрализации вредных антропогенных воздействий, а также является мерой максимально допустимого вмешательства в процесс производственной и иной деятельности.

Применение рассмотренных понятий позволяет обогатить методические подходы при изучении и решении про-

блем экологического состояния территорий.

При рассмотрении неблагополучных в экологическом отношении районов принципиально важно определить тактические и стратегические направления оздоровления обстановки, снижения степени воздействия на природу, для чего разрабатывают специальные программы. Заказчиком (а возможно, и исполнителем, разработчиком) программы социально-экономического развития территории в условиях кризисной экологической ситуации является инициатор, требующий объявления территории зоной с кризисной экологической ситуацией и привлекающий внимание к этой проблеме местных природоохранных и санитарно-эпидемиологических служб, научно-исследовательских учреждений, общественных организаций.

При оценке окружающей природной среды (экологическое состояние территории) и к выбору наиболее емких и информативных критериев оценки состояния экосистем, их биотической и абиотической составляющих целесообразен комплексный подход. Исходным концептуальным положением такого подхода являются отказ от механического суммирования состояния отдельных сред, выраженного в баллах, и оценка состояния экосистемы в целом. В этом случае учитывают функциональное единство природных компонентов, т. е. общая оценка формируется из оценок состояния биотических и абиотических факторов. Состояние экосистемы оценивают по ограниченному числу критериев, что позволяет получать достаточно надежную информацию. При таком подходе не только удается избежать субъективизма, присущего балльным оценкам, но и представляется возможным раскрыть причину, обуславливающую состояние экосистемы, что является основой для разработки конкретных природостабилизирующих рекомендаций.

Рассматриваемые концептуальные положения обеспечивают достаточно экономное получение исходной информации (различные статистические данные, материалы аэрофотосъемок, ограниченный объем лабораторных анали-

зов). Такая оценка первичных данных позволяет планировать более трудоемкие и затратные исследования.

Практически реализовать концепцию можно при условии единого подхода как к оценке состояния экосистемы, так и компонентов, слагающих ее.

В соответствии с основными положениями действующих директивных документов экологическая обстановка классифицируется по возрастанию степени (уровня) экологического неблагополучия в результате природно-антропогенных нарушений: относительно удовлетворительная (норма — Н); напряженная, или условно-удовлетворительная (риск — Р); кризисная, или неудовлетворительная (кризис — К), адекватна зоне чрезвычайной экологической ситуации; катастрофическая (бедствие — Б), соответствует зоне экологического бедствия.

В основу выделения этих уровней положено ранжирование нарушений экосистем по глубине и необратимости, т. е. по реальным имеющим физическое выражение морфологическим факторам. Принято различать следующие классы состояний и зоны нарушений:

экологической нормы (Н), или класса удовлетворительного (благоприятного) состояния ОПС, включающей территории без заметного снижения продуктивности и устойчивости экосистем, ее относительной стабильности; удовлетворительного здоровья населения. Значения прямых критериев оценки ниже ПДК или фоновых (деградация земель менее 5 % площади);

экологического риска (Р), или класса условно удовлетворительного (неблагоприятного) состояния ОПС, имеющей территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, их нестабильным состоянием, ведущим в дальнейшем к спонтанной деградации экосистем, но еще с обратимыми нарушениями. Территории требуют разумного хозяйственного использования и планирования мероприятий по их улучшению; здоровье населения ухудшено частично. Значения прямых критериев оценки незначительно превышают ПДК или фон (деградация земель 5...20 % площади);

экологического кризиса (К), или клас-

са неудовлетворительного состояния ОПС (чрезвычайная экологическая ситуация). В эту зону входят территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости экосистем, с труднообратимыми нарушениями; отмечена серьезная угроза здоровью населения. Происходят устойчивые отрицательные изменения состояния естественных экосистем (уменьшение видового разнообразия, исчезновение отдельных видов растений и животных, нарушение генофонда). Необходимы выборочное хозяйственное использование территорий и планирование их глубокого улучшения. Значения прямых критериев оценки значительно превышают ПДК или фон (деградация земель 20...50 % площади);

экологического бедствия — катастрофы (Б), или класса катастрофического состояния сред. Она включает территории с полной потерей продуктивности, глубокими практически необратимыми нарушениями экосистем; здоровье населения существенно ухудшено. Происходит разрушение естественных экосистем (нарушение природного равновесия, деградация флоры и фауны, потеря генофонда). Значения прямых критериев оценки многократно превышают ПДК или фон (деградация земель более 50 % площади).

Как уже отмечалось, дают характеристику зонам и определяют классы экологического состояния территории по наиболее репрезентативным показателям, но обязательно с использованием и взаимным учетом тематических, пространственных и динамических критериев оценки. Важно подчеркнуть, что единого интегрального показателя состояния (или оценки) экосистем не существует, однако число наиболее репрезентативных показателей может быть сведено к оптимальному минимуму. Следовательно, оценка экологического состояния территории может состоять из интегральной морфологической оценки состояния экосистемы с расшифровкой ее через характеристику состояния геосфер (среды обитания). Только так можно оценить современное состояние экосистемы, а также и причины этого состояния с учетом влияния техногенеза.

Особое внимание необходимо обращать на выбор и обоснование критериев, по которым оценивают экологическое состояние отдельных территорий.

Существует несколько подходов к классификации и иерархии показателей оценки состояния (классов) экосистем и геосферных оболочек.

В. В. Виноградов предлагает выделять биотические показатели, включающие три класса критериев: тематические, пространственные и динамические.

В состав тематических входят ботанические (геоботанические и биохимические), зоологические и почвенные оценочные критерии. За исключением биологических, они характеризуют ресурсный потенциал анализируемого компонента, а через него — состояние экосистемы.

Для геосферных оболочек предлагается три оценочных показателя: прямой (основной), косвенный и индикаторный.

Глубокие необратимые изменения необходимо рассматривать за относительно короткий исторический срок — не менее продолжительности жизни одного поколения людей.

Под существенным ухудшением здоровья населения понимают увеличение необратимых, несовместимых с жизнью нарушений здоровья, изменение структуры причин смерти и появление специфических заболеваний, вызванных загрязнением окружающей среды. Под угрозой здоровью населения понимают существенное увеличение частоты обратимых нарушений здоровья (неспецифические заболевания, отклонения физического и нервно-психического развития и др.), связанных с загрязнением окружающей среды.

Состояние ОПС и качество среды обитания человека характеризуют критерии загрязнения воздушной среды, воды, почв, истощения природных ресурсов и деградации экосистем. Качество природной среды оценивается также совокупно как с позиции общеэкологических, так и санитарно-гигиенических требований.

Под критерием подразумевают описание совокупности показателей, позволяющих охарактеризовать ухудше-

ние состояния здоровья населения и окружающей среды.

Показатели означают размер, а параметры — границы интервалов, соответствующих степеням экологического неблагополучия территорий. Параметры приняты либо на основании научных, экспериментальных данных, либо экспертных оценок специалистов.

Ботанические критерии имеют наибольшее значение, поскольку они не только чувствительны к нарушениям окружающей среды, но и наилучшим образом прослеживают зоны экологического состояния по размерам в пространстве и по стадиям нарушения во времени. Ботанические показатели весьма специфичны, так как разные виды растений и различные растительные ассоциации в неодинаковых географических условиях имеют разную чувствительность и устойчивость к нарушающим воздействиям и, следовательно, одни и те же показатели для классификации зон экологического состояния могут существенно варьиро-

вать для разных ландшафтов. При этом учитывают признаки негативных изменений на разных уровнях: организменном (фитопатологические изменения), популяционном (ухудшение видового состава и фитоценометрических признаков) и экосистемном (соотношение площади в ландшафте). Пример ранжирования состояния экосистем по ботаническим критериям приведен в таблице 20.1 (осредненные основные показатели, районированные для определенных зональных условий).

Биохимические критерии экологического нарушения основаны на измерениях аномалий в содержании химических веществ в растениях. Для классификации критического экологического нарушения территории используются показатели изменения соотношения содержания токсичных и биологически активных микроэлементов в укусах растений с пробных площадок и в растительных кормах. Аэротехногенный путь поступления пол-

20.1. Ранжирование состояния экосистем по ботаническим нарушениям

Показатель	Н	Р	К	Б
Ухудшение видового состава естественной растительности и характерных видов	Естественная смена доминантов, субдоминантов, в особенности полезных видов	Уменьшение обилия господствующих, особенно полезных, видов	Смена господствующих видов на вторичные, в основном сорные и ядовитые	Уменьшение обилия вторичных видов, полезных растений практически нет
Повреждение растительности (дымом заводов)	Нет	Повреждение наиболее чувствительных видов (хвойные деревья, лишайники)	Повреждение среднечувствительных видов	Повреждение слабочувствительных видов (трава, кустарники)
Относительная площадь коренных (квазикоренных) ассоциаций, %	> 60	40...60	20...30	< 10
Биоразнообразие (уменьшение индекса разнообразия Симпсона), %	< 10	10...20	25...50	> 50
Лесистость, % зональной	> 80	60...70	50...30	< 10
Гибель посевов, % площади	< 5	5...15	15...30	> 30
Проективное покрытие пастбищной степной и полупустынной растительностью, % нормального	> 80	60...70	20...50	< 10
Продуктивность пастбищной растительности, % потенциальной	> 80	60...70	10...20	< 5

20.2. Ранжирование состояния экосистем по биохимическим нарушениям

Показатель	Н	Р	К	Б
По содержанию химических веществ в сухой массе травянистых растений, мг/кг:				
С:N	1,1...1,5	6...8	4...6	< 4
Pb, Cd, Hg, Ni, Cr, As, Sb, по превышению МДУ	1,1...1,5	2...4	5...10	> 10
Ti, Se, по превышению фона	< 1,5	2...4	5...10	> 10
Al, S, Bi, Te, Wo, Mn, Ca, Ce, Jn, Li, по превышению фона	—	1,5...2	2...10	10...50
Си	10...20	30...70	80...100	100
Zn	—	30...60	60...100	100...500
Fe	—	50...100	100...200	100...500
Mo	2...3	3...10	10...50	50
Co	—	0,3...1,0	1...5	5...50

лютантов в растения через их ассимиляционные органы является фактором, определяющим деградацию лесных биогеоценозов, особенно в условиях воздействия выбросов горно-металлургических предприятий.

Наиболее информативные биохимические показатели поражения лесных экосистем приведены в таблице 20.2.

Экологические критерии нарушения животного мира можно рассматривать как на ценотических уровнях (видовое разнообразие, пространственная структура, трофическая структура, биомасса и продуктивность, энергетика), так и на популяционных (пространственная структура, численность и плотность, поведение, демографическая и генетическая структура).

По *зоологическим критериям* выделяют ряд стадий экологического нарушения территории. Зону риска определяют главным образом по экологическим критериям начальной стадии нарушения — синатропизация, потеря стадного поведения, изменение путей миграции, реакция толерантности. Последующие стадии нарушения оценивают дополнительно по пространственным, демографическим и генетическим критериям. Зона кризиса характеризуется нарушением структуры популяций, групп и стад, сужением ареала распространения и обитания, нарушением продуктивного цикла. Зона бедствия отличается исчезновением части ареала или местообитания, массовой гибелью возрастных групп, резким ростом численности синатропных и нехарактерных видов, интенсивным ростом антропозоонозных и зоонозных заболеваний.

Ввиду сильной разногодичной изменчивости зоологических показателей (не менее 25 %) некоторые из применяемых критериев берут за 5... 10-летний период.

Почвенные критерии рассматривают в статусе оценочных критериев экосистем, так как ухудшение свойств почв является одним из наиболее значимых факторов формирования зон экологического риска, кризиса и бедствия. Прежде всего это снижение плодородия почв на большой площади и с высокой скоростью. Почвенно-эрозионные критерии связаны с вторично-антропогенными геоморфологическими процессами, ускоренными неблагоприятной хозяйственной деятельностью человека. Эти процессы наблюдаются и в естественных условиях, но нарушение устойчивости растительного и почвенного покровов (вырубка лесов, распашка земель, перевыпас пастбищ и т. п.) значительно ускоряет эти процессы и увеличивает площади распространения, что приводит к формированию зон экологического риска, кризиса и бедствия. Интегральные показатели загрязнения почвы — ее фитотоксичность (свойство почвы подавлять рост и развитие высших растений) и генотоксичность (способность влиять на структурно-функциональное состояние почвенной биоты). Пример выделения зон экологического состояния по основным почвенным критериям приводится в таблице 20.3.

20.3. Ранжирование состояния экосистем по почвенным нарушениям

Показатель	Н	Р	К	Б
Плодородие почв, % потенциального	>85	65...85	65...25	<25
Содержание гумуса, % первоначального	>90	70...90	30...70	<30
Площадь вторично засоленных почв, %	<5	5...20	20...50	>50
Глубина смывости почвенных горизонтов		Смыв горизонт А, или 0,5 горизонт А	Смыв горизонт А и частично АВ	Смывы горизонты А и В
Площадь ветровой эрозии (полностью сдутые почвы), %	<5	10...20	20...40	>40

Пространственные критерии наряду с учетом степени нарушения имеют большое значения для оценки площади пораженности экосистемы. Если площадь изменения невелика, то при равной глубине воздействия малая по площади нарушенная система восстановится быстрее, чем обширная. Если площадь нарушения превышает предельно допустимые размеры, то разрушение среды практически необратимо и относится к уровню катастрофы. Например, выгорание лесов на площади в десятки и даже сотни гектар практически обратимо, так как леса восстанавливаются — это не катастрофа. Однако, если площадь выгорания лесов или какой-либо формы техногенного разрушения растительного покрова достигает площади десятков и сотен тысяч гектаров, изменения практически необратимы и происшествие квалифицируется как катастрофа. Таким образом, размер катастрофического нарушения достаточно велик и превышает, по В. В. Виноградову, площадь 10...100 тыс. га в зависимости от типа растительности и геолого-географических условий.

Чем серьезнее нарушение, тем больше репрезентативная площадь его влияния. Пространственным критерием зон экологического нарушения служит относительная площадь земель (в процентах), выведенных из землепользования в пределах исследуемой экосистемы. Даже в норме, т. е. в стабильном растительном покрове, относительная пло-

щадь нарушенных земель может достигать 5 %, а в зонах экологического бедствия превышает 50 %. При одной и той же стадии нарушения, выявленной по тематическим критериям, увеличение относительной площади нарушения соответствует более высокому уровню опасности. Это может быть выражено в виде матрицы для административного района площадью 100...200 тыс. га. Пример такой матрицы приведен в таблице 20.4.

20.4. Выделение нарушенных зон экосистем в зависимости от глубины экологического нарушения и его площади

Зона нарушенности экосистем (Н, Р, К, Б)	Нарушенная площадь, %			
	< 5	5...19	20...50	> 50
Глубина нарушения:				
норма	—	—	—	—
умеренное	Н	Н	Н	Р
среднее	Н	Н	Н	К
сильное	Н	Р	К	Б

Если нарушено менее 5 % территории, то изменение квалифицируется в пределах нормы, но умеренное нарушение на относительной площади более 50 % оцениваемой территории уже является основанием для объявления ее зоной экологического риска.

Для классификации зон экологического риска, кризиса и бедствия необходимо учитывать пространственную неоднородность нарушенных зон и наличие в ней комбинаций относительной площади разной степени нарушения.

Так, зона риска может составлять комбинацию из слабоизмененных площадей (менее 30 %), средне- и сильноизмененных (менее 40 %) экосистем, зона кризиса из слабо- и среднеизмененных площадей (менее 30 %), сильно и очень сильно измененных (более 40 %), очень сильно измененных (менее 30 %) экосистем; зона бедствия — из очень сильно измененных площадей (более 40 %), слабо- и среднеизмененных (менее 20 %), очень сильно измененных (более 30 %) экосистем (табл. 20.5).

20.5. Классификация зон с учетом степени нарушенности площадей

Нарушение	Н	Р	К	Б
Умеренное	<70	<	<30	<
Среднее	<10	>30	>40	>20
Сильное	>5	<40	<30	>30
		40		

Динамические критерии наиболее достоверны для выявления зон экологического нарушения по скорости нарастания неблагоприятных изменений природной среды (скорость накопления тяжелых металлов, скорость прироста площади подвижных песков и т. п.).

Статические критерии выявления зон экологических нарушений при всей их очевидности недостаточны для объективной оценки изучаемых ситуаций, поскольку они не дают полного представления об истинной картине бедствия. Следует иметь в виду, что имеются природные стабильные зоны с кризисными и бедственными признаками, которые не являются не только антропогенными, но и динамичными. Так, известные биогеохимические провинции (например, на Южном Урале или на Алтае) по статичным биогеохимическим показателям могут быть отнесены к зонам экологического кризиса. Вместе с тем по динамичным критериям они таковыми не являются, так как повышенные концентрации металлов в почвах и растениях были здесь до антропогенеза. Точно так же нельзя считать зонами экологического бедствия изначально не закрепленные пески (например, Арчадинские, относящиеся к плейстоцену), устойчивые природные эрозионные комплексы и т. п.

По этому показателю В. В. Виноградов выделяет четыре класса динамизма растительного покрова. Стабильные территории со скоростью изменений менее 0,5 % площади в год подвержены лишь разногодичной и циклической флуктуации. Умеренно динамичные территории со скоростью изменения до 1...2 % площади в год, полная смена которых происходит за 50... 100 лет и которые формируют слабовыраженные тренды, соответствуют зонам экологического риска. Среднединамичные территории со скоростью изменений до 2...3 % площади в год, полная смена которых происходит в течение 30...50 лет с выраженной формой тренда, соответствуют зонам экологического кризиса. Сильнодинамичные территории со скоростью изменений свыше 4 % площади в год, полная смена которых происходит менее чем за 25 лет, соответствуют зонам экологического бедствия.

Для выявления скорости смен и исключения разногодичных колебаний при выделении зон экологического бедствия необходима представительная продолжительность наблюдений. Считается, что минимальный срок для определения линейной скорости изменений составляет 8... 10, а нелинейной — 20...30 лет.

20.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Состояние здоровья населения оценивают по совокупности критериев и показателей загрязнения атмосферного воздуха, вод, почв и других компонентов.

К основным медико-демографическим показателям относят заболеваемость, детскую смертность, медико-гигиенические нарушения, специфические и онкологические заболевания, связанные с загрязнением окружающей среды.

Медико-демографические показатели экологически неблагоприятных территорий сравнивают с аналогичными показателями контрольных (фоновых) территорий в тех же природных зонах. В качестве контрольных (фоновых) принимают населенные пункты (либо отдельные их части), где зарегистрированы более благоприятные значения медико-демографических показателей. Эти показатели рекомендуют определять отдельно для городской и сельской местности по нескольким (трем и более) пунктам с благоприятной санитарно-гигиенической ситуацией. Среднее значение из нескольких минимальных показателей принимают в качестве контрольного (фонового). В качестве контрольных значений нельзя использовать только средние показатели по республике, краю, области. Предпочтение отдают показателям, рассчитанным за 10 лет и (или), их динамике за этот период. Исключением является лишь относительно редко встречающиеся заболевания, а также специфические заболевания и некоторые другие нарушения состояния здоровья, этиологически связанные с факторами окружающей среды антропогенного происхождения.

В качестве контрольных цифр допускается использование данных по территории за предшествующие годы.

Зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия устанавливаются по одному или нескольким основным и дополнительным показателям, отражающим более высокую степень экологического неблагополучия.

Поскольку в России отсутствует единое методическое руководство по экологической эпидемиологии, то при подготовке материалов следует руководствоваться действующими инструктивно-методическими документами соответствующих министерств и ведомств (Минздрав, Санэпиднадзор, Госкомстат и др.).

20.3. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Оценка атмосферы основывается на интегральном учете загрязнения воздушного бассейна исследуемой территории, характеризуемого системой прямых, косвенных и индикаторных критериев.

Прямые критерии включают группы геохимических, геодинамических, медико-санитарных и ресурсных критериев.

Геохимическая группа критериев позволяет оценить химическое, механическое, радионуклидное загрязнение геосфер, а медико-санитарная — бактериологическое. Геодинамическая группа критериев связана с оценкой площадей геосфер, пораженных природными и антропогенными геологическими процессами, а ресурсная — с оценкой ресурсов, необходимых для нормального существования биоты, включая человеческое сообщество.

Косвенные критерии оценки позволяют оценить современное состояние геосфер опосредованно, через критерии оценки смежных сред, с которыми они тесно взаимодействуют (атмосфера и почва, атмосфера и растительность и т.д.).

Индикаторные (индикационные) критерии оценки, как правило, дают общую картину состояния той или иной

геосферы (компонента природной среды).

Не останавливаясь на общеизвестных нормативных и директивных документах, используемых при оценке современного состояния отдельных природных сред, целесообразно акцентировать внимание на рассмотрении их методически важных особенностей.

Прямые критерии оценки. Основными критериями состояния загрязнения воздушного бассейна являются величины предельно допустимых концентраций (ПДК), утвержденные еще Минздравом СССР для вредных веществ, отрицательно влияющих на здоровье человека. Следует отметить, что России (точнее, СССР) принадлежит приоритет в разработке ПДК загрязнений в атмосферном воздухе. В 1949 г. профессор В. А. Рязанов сформулировал основные критерии вредности атмосферных загрязнений. Атмосфера, разумеется, занимает особое положение в ряду геосфер и в отдельной экосистеме, будучи средой переноса техногенных загрязнителей и наиболее изменчивой и динамичной среди других абиотических факторов. Для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха применяют максимально разовые концентрации (ПДК_{мр}), учитывающие краткосрочные эффекты, среднесуточные (ПДК_{сс}) и среднегодовые концентрации (ПДК_{сг}), учитывающие длительные воздействия.

Концентрация загрязняющих веществ от отдельных локальных источников в результате процессов рассеяния и выпадения примесей довольно быстро убывает с расстоянием. Максимальные концентрации отмечаются на расстоянии, равном 10...20 высотам трубы. Поэтому опасные для здоровья человека концентрации от таких источников наблюдаются, как правило, на площади не более 10...100 км². Для хвойных лесов, чувствительность которых к загрязнению атмосферы в несколько раз больше, чем у человека, площадь поражения растительности может достигать 100... 1000 км².

В крупных промышленных агломерациях происходит наложение загрязнения от отдельных источников, и общая площадь негативного воздействия

может быть близкой к площади самой агломерации и даже превышать ее.

Возможное неблагоприятное влияние загрязненного воздуха на здоровье населения оценивают по результатам измерений, выполненных в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.3.01 — 86 на стационарных, маршрутных и передвижных постах наблюдений.

Степень загрязнения устанавливают по кратности превышения ПДК с учетом класса опасности, суммарного биологического действия загрязнений воздуха и частоты превышений ПДК.

В соответствии с действующими ПДК для оценки степени загрязнения воздуха используют фактические максимально разовые и среднесуточные концентрации за последние несколько лет (но не менее чем за 2 года). Результаты измерений обрабатывают и представляют для каждого поста, вещества и года наблюдения раздельно. По каждому веществу должно быть не менее 200 наблюдений (проб).

Для повышения надежности оценки результатов измерений и исключения случайных значений используют статистическую обработку материала, позволяющую с учетом варьирования концентраций получить такое значение, которое в 95 % случаев будет на уровне или меньше расчетной концентрации C_{95} , которую определяют с помощью статистических или графических методов, разработанных Госкомгидрометом.

Кратность превышения вычисляют делением показателя C_{95} на максимальную разовую ПДК (С-концентрация):

$$K = C_{95}/\text{ПДК}.$$

Оценка степени загрязнения приведена в таблице 20.6.

20.6. Критерии оценки степени загрязнения атмосферного воздуха по максимальным разовым концентрациям

Класс опасности загрязнения	Экологическое состояние атмосферы			
	Б (ст. 59)		К (ст. 58)	
	К	1 % измерений больше ПДК	К	% измерений больше ПДК
I	5,0	30	3,0...5,0	30
II	7,5	30	5,0...7,5	30
III	12,5	50	8,0...12,5	50
IV	20,0	50	12,5...20,0	50

Если в атмосферном воздухе присутствуют вещества, обладающие суммарным эффектом биологического действия, то

$$C_{95\text{пр}} = C^1 + C^2(\text{ПДК}^1/\text{ПДК}^2) + \\ + C^3(\text{ПДК}^1/\text{ПДК}^3) + \\ + \dots + C^n(\text{ПДК}^1/\text{ПДК}^n).$$

Степень загрязнения атмосферного воздуха для суммы ингредиентов оценивают по приведенной концентрации. Сумму таких веществ рекомендуют приводить к веществу, обладающему менее благоприятным классом опасности.

Степень загрязнения оценивают по среднесуточным пробам, полученным путем непрерывной (в течение 24 ч) или прерывистой (как минимум, 4 раза в сутки через равные интервалы времени) аспирации. Все концентрации из отобранных среднесуточных проб анализируют.

Для каждой среднесуточной концентрации рассчитывают кратность превышения показателя К. Определенный по этому показателю ряд за анализируемый период (год) оценивают в соответствии с критериями, приведенными в таблице 20.7. Если отмечают суммарный эффект загрязняющих веществ, то рассчитывают приведенную среднесуточную концентрацию $C_{\text{сс.пр}}$ по вышеприведенной формуле. (Оценку ведут по $C_{\text{сс.пр}}$.)

20.7. Критерий оценки степени загрязнения атмосферного воздуха по среднесуточным концентрациям

Класс опасности загрязнения	Экологическое состояние атмосферы			
	Б (ст. 59)		К (ст. 58)	
	К	% проб больше К	К	% проб больше К
I	3,0	20 или 7 дней подряд	2...3	20 или 7 дней подряд
II	5,0	То же	3...5	То же
III	7,5	30 дней	5,0...7,5	30 дней
IV	12,0	30 дней	8...12	30 дней

С учетом приведенных критериев территории представляют материалы по всем типам загрязнения атмосферы, на основании которых придается в последующем соответствующий статус зоны экологического неблагополучия.

Среднегодовые концентрации за-

грязняющих веществ в атмосферном воздухе рассчитывают по ГОСТ 17.2.3.01—86 или используют данные «Ежегодников о состоянии загрязнения воздуха городов и промышленных центров» за несколько лет (но не менее 2 лет).

Степень загрязнения определяют с учетом кратности превышения среднегодового ПДК веществ, класса их опасности, допустимой повторяемости концентраций заданного уровня и коэффициента их комбинированного действия.

Среднегодовые значения ПДКСГ выводят через среднесуточное значение ПДКСС по соотношению

$$\text{ПДКСГ} = \alpha \text{ ПДКСС},$$

где α — поправочный коэффициент для различных веществ, имеющих следующие значения:

Вещество	α
Аммиак, азота оксид, азота диоксид, бензол, бенз(а)пирен, марганца диоксид, озон, серы диоксид, сероуглерод, синтетические жирные кислоты, фенол, формальдегид, хлорпрен	1,00
Трихлорэтилен	0,40
Амины, анилин, взвешенные вещества (пыль), углерода оксид, хлор	0,34
Сажа, серная кислота, фосфорный ангидрид, фториды (твердые)	0,30
Ацетальдегид, ацетон, диэтиламин, толуол, фтористый водород, хлористый водород, этилбензол	0,20
Акролеин	0,10

Степень загрязнения воздуха веществами разных классов опасности определяется «приведением» их концентраций, нормированных по ПДК, к концентрациям веществ III класса опасности по формуле

$$K = K^n j,$$

где n — коэффициент изоэффективности; j — класс опасности ($n = 2,3$ для $j = I$; $n = 1,3$ для $j = II$; $n = 0,87$ для $j = IV$). При нормированных по ПДК концентрациях больше 2,5 для I класса, 5 для II класса, 8 для III класса и 11 для IV класса «приведение» к III классу осуществляют умножением концентраций, нормированных по ПДК, соответственно на 3,2; 1,6; 1,0 и 0,7.

Другим важным критерием оценки суммарного загрязнения атмосферного воздуха (различными веществами по среднегодовым концентрациям) является

сложный комплексный показатель

$$P = Sgrt [\text{Sum} (Kj - 2j)],$$

где $Sgrt [\text{Sum} (Kj - 2j)]$ — квадратный корень из суммы квадратов нормированных по ПДК концентраций, приведенных к концентрациям веществ III класса; U — номер вещества.

Степень суммарного загрязнения атмосферного воздуха оценивают по комплексному показателю P по данным таблицы 20.8. При этом если в комплексном показателе значение любого вещества превышает значение показателя для одного вещества, то в этом случае степень загрязнения оценивают и по этому веществу.

20.8. Критерии оценки среднегодового загрязнения атмосферного воздуха

Комплексный показатель среднегодового загрязнения воздуха	Экологическое состояние атмосферы		
	Б (ст. 59)	К (ст. 58)	Относительно удовлетворительная ситуация
Одно вещество	Более 16	∞	1
Два—четыре вещества	Более 32	16	2
Пять—девять веществ	Более 48	32	3
Десять—шестнадцать веществ	Более 64	48	4
Шестнадцать—двадцать пять веществ	Более 80	64	5

Атмосферный воздух является начальным звеном в цепочке загрязнений природных сред и объектов. В отдельных случаях почва и поверхностные воды могут быть источниками вторичного загрязнения атмосферы или, наоборот, показателем ее загрязнения. Это обстоятельство определяет необходимость наряду с оценкой непосредственно загрязнения воздушного бассейна учитывать возможные последствия влияния загрязненной атмосферы на сопредельные среды, проводить интегральную (комплексную) оценку ее состояния. По мнению Л. И. Болтневой, интегральная оценочная система должна включать оценки: загрязнения с санитарных и гигиенических позиций; ресурсного потенциала атмосферы; степени влияния на определенные среды: почвенно-растительный покров и поверхностные воды; тенденций и интенсивности (скорости) процессов антропогенного развития исследуемой природно-технической системы для выяв-

ления краткосрочных и долгосрочных эффектов воздействия; пространственного и временного масштабов возможных негативных последствий антропогенного воздействия.

Загрязняющие вещества в воздушном бассейне по вероятности их неблагоприятного влияния на здоровье населения делят на четыре класса: первый — чрезвычайно опасные; второй — высокоопасные; третий — умеренно опасные и четвертый — малоопасные.

Наиболее общим и информативным показателем загрязнения воздуха является комплексный индекс среднегодового загрязнения атмосферы (КИЗА). Его количественное ранжирование приведено в таблице 20.9.

20.9. Критерии оценки состояния загрязнения атмосферы по комплексному индексу (КИЗА)

Показатель	Экологическое состояние атмосферы			
	Н	Р	К	Б
Загрязнение воздуха J^m	< 5	5...8	8...15	> 15

Ранжирование выполнено в соответствии с классификацией уровня загрязнения воздуха по четырехбалльной шкале, где класс нормы соответствует уровню загрязнения воздуха меньше среднего по городам страны, класс риска равен среднему уровню, класс кризиса больше среднего уровня, а класс бедствия значительно больше среднего уровня.

КИЗА применяют для оценки временных тенденций изменения загрязнений атмосферы.

Ресурсный потенциал самоочищения атмосферы на какой-либо территории определяется ее способностью к рассеиванию и выведению примесей, соотношением фактического уровня загрязнений и значениями ПДК. Оценка рассеивающей способности основана на таких комплексных показателях, как потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА) и параметр потребления воздуха (ПВ). Эти характеристики определяют особенности формирования степени загрязнения в зависимости от особенностей климата и режима метеорологических условий, способствующих накоплению, распределению и выведению примесей из атмосферы.

ПЗА — комплексная характеристика повторяемости метеорологических условий, неблагоприятных для рассеивания примесей в воздушном бассейне. На территории страны с учетом повторяемости приземных инверсий и застоев, слабых ветров и туманов разной продолжительности выделены пять классов ПЗА, характерных для городских условий.

ПВ характеризует объем чистого воздуха, необходимый для разбавления выбросов загрязняющих веществ до значения средней концентрации.

В качестве критерия для оценки оптимальности размещения источников загрязнения атмосферы и селитебных территорий используют резерв (дефицит) рассеивающих свойств атмосферного воздуха (ВР).

Ресурсный потенциал атмосферы оценивают с учетом гигиенического обоснования комфортности климата, возможности использования территории в рекреационных целях. Важным при этом является физиолого-гигиеническая классификация погоды холодного и теплого периодов года.

Основными показателями загрязнения атмосферного воздуха, характеризующими воздействие на растительность, почвы, поверхностные и подземные воды, являются критические нагрузки и критические значения загрязняющих веществ, которые не приводят к вредным воздействиям на структуры и функции экосистемы в долговременном плане.

Критические значения диоксида серы, диоксида азота, фтористого водорода и озона, влияющих на наземную растительность, а также критические нагрузки по соединениям серы, азота и ионов водорода, влияющих на лесные и водные экосистемы (европейская часть России), приведены в таблице 20.10.

Как установлено из опыта, критерием для выделения зон экологического бедствия может служить превышение в 10...15 раз критических значений и нагрузок для различных ингредиентов с учетом чувствительности экосистемы.

Завершающий этап комплексной оценки состояния загрязнения атмосферного воздуха — анализ тенденций динамики техногенных процессов и оценки возможных негативных их по-

20.10. Критерии загрязнения атмосферного воздуха по веществам, влияющим на наземную растительность и водные экосистемы

Показатель	Экологические параметры			Время воздействия
	Б (ст. 59)	К (ст. 58)	Н	
<i>Критические значения для наземной растительности, мг/м³</i>				
Диоксид серы	> 0,20	0,1...0,2	< 0,02	Среднегодовое
Диоксид азота	> 0,30	0,2...0,3	< 0,03	»
Фтористый водород	> 0,02	0,01...0,02	< 0,002...0,003	Долговременное воздействие
Озон	> 1,50	1,0.-1,5	< 0,15	Максимальное в течение 1 ч
	> 0,60	0,4...0,6	< 0,06	Среднее в течение 3 ч
	> 0,50	0,3...0,5	< 0,05	Среднее между 9...16 ч каждого дня в период с 01.04 по 30.09
<i>Критические нагрузки для лесных и водных экосистем, г/м³ в год</i>				
Соединения серы	> 5	3...5	< 0,32	Северные и центральные районы
Соединения азота	> 4	2...4	< 0,28	То же
Ионы водорода	> 300	200...300	< 20	»

следствий в краткосрочном и долгосрочном аспектах на локальном и региональном уровнях. При анализе пространственных особенностей и временной динамики последствий воздействия загрязнения атмосферы на здоровье населения и состояние экосистемы применяют метод картографирования.

20.4. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ДЕГРАДАЦИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Поверхностные воды. Сформировавшиеся зоны экологических нарушений природного и антропогенного проис-

хождения выявляют по различным показателям (химическим, биологическим и др.). Оценка качества водных экосистем хорошо разработана и базируется на нормативных и директивных документах, использующих прямые гидрогеохимические оценки. В таблице 20.11 в качестве примера приведены критерии

20.11. Показатели для оценки степени химического загрязнения поверхностных вод*

Показатель	Экологические параметры		Относительно удовлетворительная ситуация
	Б	К	
<i>Основные показатели</i>			
Химические вещества ПДК для классов опасности:			
I...II	> 10	5...10	1
III...IV	> 100	50...100	1
ПХЗ-10** для классов опасности:			
I...II	> 80	35...80]
III...IV	> 500	500	10
<i>Дополнительные показатели</i>			
Реакция среды, рН	5,0...5,6	5,7...6,5	> 7
Химическое потребление кислорода (ХПК) — антропогенная составляющая к фону, мг O ₂ /л	20...30	10...20	—
Растворенный кислород, % насыщения	10...20	20...50	> 80
Биогенные вещества:			
нитриты NO ₂ ⁻ , ПДК	> 10	> 5	< 1
нитраты NO ₃ ⁻ , ПДК	> 20	> 10	< 1
соли аммония NH ₄ ⁺ , ПДК	> 10	> 5	< 1
фосфаты PO ₄ ³⁻ , мг/л	> 0,6	0,3...0,6	< 0,05
Минерализация, мг/л (превышение регионального уровня)	3...5	2...3	Региональный уровень

* При стабильном сохранении химического загрязнения в течение 3 лет.

** Формализованный суммарный показатель химического загрязнения вод для десяти максимально превышающих ПДК загрязняющих веществ.

оценки степени химического загрязнения поверхностных вод.

Основанием для заключения о санитарно-экологическом неблагополучии может служить стабильное сохранение негативных значений ведущих показателей в течение достаточно длительного периода (не менее одного года). Отклонения от норм, как правило, наблюдаются по нескольким критериям. Исключения составляют случаи загрязнения водосточников и питьевой воды патогенными микроорганизмами и возбудителями паразитарных заболеваний, а также особо токсичными (чрезвычайно опасными) веществами, когда вывод о неблагополучии может быть сделан по одному критерию.

Показатели, характеризующие загрязнение водоемов и питьевой воды веществами, отнесенными к III и IV классам опасности, а также физико-химические свойства и органолептические характеристики воды относятся к дополнительным. Их используют для подтверждения степени интенсивности антропогенного загрязнения водосточников, установленного по приоритетным показателям.

Применение различных критериев оценки качества вод должно основываться на преимуществе требований того водопользования, чьи критерии жестче. Например, если водный объект одновременно служит для питьевых и рыбохозяйственных целей, то к оценке качества вод могут предъявлять более строгие требования (экологические и рыбохозяйственные).

Для совокупной оценки опасных степеней загрязнения водных объектов при выделении зон чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия предлагается использовать показатель ПХЗ-10. Этот показатель особенно важен для территорий, где загрязнение химическими веществами наблюдается сразу по нескольким веществам, каждый из которых многократно превышает ПДК. Его рассчитывают только при выявлении зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия.

Расчет ведут по десяти соединениям, максимально превышающим ПДК, по формуле

$$\text{ПХЗ-10} = \text{C}^1/\text{ПДК}^1 + \text{C}^2/\text{ПДК}^2 + \\ + \text{C}^3/\text{ПДК}^3 + \dots + \text{C}^{10}/\text{ПДК}^{10},$$

где $\text{C}^1, \text{C}^2, \text{C}^3, \dots, \text{C}^{10}$ — концентрация химических веществ в воде; ПДК рыбохозяйственные.

При определении ПХЗ-10 для химических веществ, по которым относительно удовлетворительное значение загрязнения вод отсутствует, отношение С/ГТДК условно принимают равным 1.

Для установления ПХЗ-10 рекомендуют проводить анализ воды по максимально возможному числу показателей.

В дополнительные показатели включены общепринятые физико-химические и биологические характеристики, дающие общее представление о составе и качестве вод. Эти показатели используют для дополнительной характеристики процессов, происходящих в водных объектах. Кроме того, в дополнительные характеристики включают показатели, учитывающие способность загрязняющих веществ накапливаться в донных отложениях и гидробионтах.

Коэффициент донной аккумуляции КДА вычисляют по формуле

$$\text{КДА} = \text{C}_{\text{д.о}}/\text{C}_{\text{в}}$$

где $\text{C}_{\text{д.о}}$ и $\text{C}_{\text{в}}$ — концентрация загрязняющих веществ соответственно в донных отложениях и в воде.

Коэффициент накопления в гидробионтах:

$$\text{К}_{\text{н}} = \text{C}_{\text{г}}/\text{C}_{\text{в}},$$

где $\text{C}_{\text{г}}$ — концентрация загрязняющих веществ в гидробионтах.

Критические концентрации химических веществ (КК) определяют по Методике определения критических концентраций загрязняющих веществ, разработанной Госкомгидрометом в 1983 г.

Усредненные значения КК некоторых загрязняющих веществ составляют, мг/л: медь — 0,001...0,003; кадмий — 0,008... 0,020; цинк — 0,05...0,10; хлорированные углеводороды: ПХБ — 0,005, бенз(а)пирен — 0,005.

При оценке состояния водных экосистем достаточно надежными показателями являются характеристики состо-

яния и развития всех экологических групп водного сообщества.

При выделении рассматриваемых зон используют показатели по бактерио-, фито- и зоопланктону, а также по ихтиофауне. Кроме того, для определения степени токсичности вод применяют интегральный показатель — биотестирование (на низших ракообразных). При этом соответствующая токсичность водной массы должна наблюдаться во всех основных фазах гидрологического цикла.

Основные показатели по фито- и зоопланктону, а также по зообентосу приняты на основании данных региональных служб гидробиологического контроля, характеризующих степень экологической деградации пресноводных экосистем.

Параметры показателей, предлагаемых для выделения на данной территории зон, должны формироваться на материалах достаточно продолжительных наблюдений (не менее трех лет).

Следует иметь в виду, что индикаторные значения видов могут быть различны в разных климатических зонах.

При оценке состояния водных экосистем важны показатели по ихтиофауне, особенно для уникальных, особо охраняемых водных объектов и водоемов первой и высшей рыбохозяйственной категории.

В качестве обобщенной оценки состояния сообществ планктонных и донных животных небезынтересно отношение продукции сообщества P^B к суммарным затратам на обмен всеми животными R^B , входящими в состав сообщества. Получаемый оценочный показатель представляет собой соотношение между полезной энергией на выходе из системы (сообщества животных) и энергией, рассеиваемой животными в процессе обмена в виде тепловой. Отношение P^B/R^B и индекс разнообразия сообществ животных бентоса и планктона (H — информационный индекс Шенона — разнообразия), т. е. структурные и функциональные характеристики, связаны между собой экспоненциальной зависимостью $P^B/R^B = a \exp(-bH)$, где a и b — параметры. На загрязненных участках рек, где отмечаются самые простые по структуре сообщества донных и планк-

тонных животных, индекс разнообразия $H < 1$, а отношение P^B/R^B достигает 0,65...0,70 (ст. 59) или $H = 1...2$, а отношение P^B/R^B не превышает 1,5 (ст. 58).

20.5. ИНДИКАЦИОННЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

В последние годы при оценках качества поверхностных вод достаточно широкое распространение получила биоиндикация. Она по функциональному состоянию (поведению) тест-объектов (ракообразные — дафнии, водоросли — хлорелла, рыбы — гуппи) позволяет ранжировать воды по классам состояний (H , P , K , B). В итоге получаем интегральную оценку качества воды и целесообразности использования ее для тех или иных целей. Ограничивающими условиями применения метода биотестирования являются продолжительный срок проведения анализа (не менее 96 ч) и отсутствие информации о химическом составе воды. Пример использования биотестов для определения качества воды (по Ю. Я. Кислякову) приведен в таблице 20.12.

20.12. Оценка состояния поверхностных и сточных вод на основе биотестов (по состоянию тест-объекта)

Показатель оценки (тест-объекты)	Экологические параметры поверхностных вод			
	H (нормальная)	P (мая)	K (средняя)	B (катастрофа)
Ракообразные (дафнии)	< 10	20	40	> 60
Водоросли (хлорелла)	< 10	20	40	> 60
Рыбы (гуппи)	< 10	20	40	> 60

Примечание. Для дафний и гуппий — % гибели в течение 96 ч экспозиции в тестируемой воде; для хлорелл — % уменьшения числа клеток в тестируемой воде по сравнению с контрольной.

Ресурсные критерии оценки. В качестве критериев оценки ресурсов поверхностных вод рекомендуется использовать изменение режима поверхностного (в частности, речного) стока в границах определенного бассейна, а также объемы возможного одновременного отбора. Ранжированные по классам состояния, эти критерии являются общепринятыми, и их используют в нормативных документах (табл. 20.13). Градация

же их по классам состояния поверхностных вод «договорная» и основывается на рекомендациях специалистов.

20.13. Ранжирование состояния поверхностных вод по ресурсному критерию

Показатель оценки	I (Н)	II (Р)	III (К)	IV (Б)
Изменение речного стока, % первоначального	15	15...20	50...75	75
Объем возможного единовременного водоотбора, м ³ /с	5	1...5	1	Отсутствует

20.6. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

Оценка качества (состояния) подземных вод достаточно строго регламентирована директивными и нормативными документами и устанавливается по отношению к ПДК. Для оценки масштабов техногенного загрязнения подземных вод В. М. Гольдберг предложил использовать определенные физические точки отсчета: качество подземных вод в естественном состоянии (C^e) и предельно допустимая концентрация (ПДК) загрязняющих веществ в подземных водах, используемых для питьевых целей. Для характеристики масштабов загрязнения подземных вод важное значение имеет также размер площади (F) загрязнения. Таким образом, состояние загрязнения подземных вод определяется двумя показателями — качеством подземных вод (C) и площадью загрязнения (F). На этой основе выделяют четыре уровня (класса) состояния подземных вод:

1. Относительного благополучия (норма). В основном качество подземных вод соизмеримо с C^e , может превышать его, но не выходить за рамки ПДК, т. е. $C^e < C/ПДК$; при этом области загрязнения отсутствуют или незначительны по размерам ($F < 0,5 \text{ км}^2$).

2. Проявления постоянных тенденций негативных изменений (класс риска). Качество подземных вод непрерывно ухудшается. Оно достигает ПДК или превышает их, но не более 3...5 ПДК на отдельных участках ($F = 0,5...5 \text{ км}^2$).

3. Кризисного состояния (кризис). Качество подземных вод на больших площадях существенно (до 10 раз) превышает ПДК, т. е. $ПДК < C/ПДК$; при

этом размеры площадей загрязнения меняются от 5 до 10 км².

4. Бедственного состояния (бедствие). Качество подземных вод в зоне загрязнения более 10 ПДК с тенденцией к ухудшению; при этом размеры площадей загрязнения более 10 км² с тенденцией к увеличению.

В первом случае нет необходимости проводить какие-либо природоохранные меры; главное — соблюдать требования законодательства и осуществлять контроль за состоянием подземных вод; во втором — целесообразно предусмотреть ограничительные меры, в третьем и четвертом — должны постоянно осуществляться специальные защитные меры.

В качестве критериев оценки ресурсов подземных вод можно рекомендовать несколько основных показателей. Очень важен модуль эксплуатационных запасов (л/с с 1 км² территории), который при необходимости может быть дифференцирован по водоносным горизонтам, используемым для централизованного водоснабжения, по объему сработки их. Такие данные важны для предпроектной стадии работ.

20.7. ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ

Выбор критериев экологической оценки состояния почв определяется спецификой их местоположения, генезисом, буферностью, а также особенностями использования.

Выявление видов деятельности, вызывающих загрязнение почвы, дает достаточно полное представление о масштабах и характере загрязнения обследуемой территории, позволяя значительно сузить и конкретизировать число учитываемых показателей. При оценке состояния почв основными показателями степени экологического неблагополучия являются критерии физической деградации, химического и биологического загрязнений (см. гл. 9).

В качестве одного из критериев экологического состояния территории рекомендуют использовать площадь выведенных из землепользования угодий в результате деградации почв (эрозия, дефляция, вторичное засоление, осо-

лонцевание, заболачивание). В основном негативные процессы (механическое удаление почвенного покрова при открытом способе добычи полезных ископаемых и строительных работах; провоцируемые человеком водная эрозия и дефляция) приводят к разрушению почвенных горизонтов, которые также служат критерием деградации почв. Структурные разрушения и развитие процессов слитизации характеризуются увеличением плотности почвы, которая является важным показателем деградационных процессов.

Для экотоксикологической оценки почв целесообразно использовать кратность превышения ПДК конкретного загрязняющего вещества дифференцированно для веществ различного класса опасности. В связи с отсутствием по некоторым ингредиентам утвержденных ПДК (например, кадмий) рекомендуют использовать отношение содержания загрязняющих веществ в жидкой фазе почвы (почвенном растворе) к соответствующему значению ПДК для природных вод. Комплексным показателем почвенного загрязнения является фитотоксичность — свойство загрязненной почвы подавлять прорастание семян, рост и развитие высших растений (тестовый показатель).

Признаком биологической деградации почв служит снижение жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, о чем можно судить по уменьшению активной микробной биомассы, а также по более распространенному (но менее точному) показателю — дыханию почвы.

Кратность превышения ПДК загрязняющих веществ в почве следует оценивать по их подвижным формам.

Одним из существенных показателей экологического состояния почв служит биологическая продуктивность ценозов, характеризующая потенциальное плодородие. Для почв сельскохозяйственных территорий таким показателем будет средняя урожайность.

Согласно экспертным оценкам для территории экологического бедствия рекомендуют принимать снижение урожайности более чем на 75 %, для территории чрезвычайной экологической ситуации — на 50...75 % (при условии про-

ведения всего комплекса агротехнических и агрохимических мероприятий для данной местности и культуры).

Дополнительным показателем, служащим индикатором степени загрязнения рассматриваемой территории (почвы, воздух, поверхностные и грунтовые воды), является доля продукции, не соответствующая нормативным требованиям по качеству (остаточные количества пестицидов, токсичных элементов, микотоксинов, нитратов, нитритов и др.).

Данные о состоянии почв следует представлять в виде подробных тематических картографических материалов, включающих информацию по основным показателям и компонентному составу загрязняющих веществ.

20.8. ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Геодинамические показатели деформации геологической среды с экологическими последствиями можно представить как результирующую проявления современного напряженно-деформированного состояния верхних частей литосферы. Эти показатели определяются параметрами критических скоростей деформации и масштабом возможного сейсмического эффекта. Если исходить из значения порога разрушения любых твердых тел порядка 0,0001 относительных единиц (отн. ед.), то в качестве предельного (критического) значения геодинамического воздействия для всех типов объектов можно использовать значение деформации 0,00001 отн. ед., которое применяют при оценке аномальных техногенных деформаций. Исходя из установленных фактов пространственно-временного изменения современных деформационных процессов в зонах разломов, предельное (критическое) значение деформации 0,00001 отн. ед. может быть достигнуто в локальных зонах в течение 15...30 лет. Эти сроки соизмеримы с минимальными сроками эксплуатации особо ответственных объектов и сооружений. Нарушение их функционирования может привести к критическим экологическим последствиям. Деформация

0,00001 отн. ед. приводит к таким нарушениям геологической среды, которые можно отнести к зонам экологического бедствия.

Экзогенные геологические процессы могут проявляться независимо от деятельности человека. Однако техногенные факторы могут усиливать или ослаблять проявление экзогенных геологических процессов. Неразумное вмешательство человека в естественный ход развития экзогенных геологических процессов может вызвать их катастрофическую активизацию и привести к необратимому изменению природных ландшафтов. К этим факторам относятся оползни, сели, оседание поверхности и др.

Оценка площадной и относительной пораженности территории природными и антропогенными геологическими процессами изложена во многих публикациях, однако узаконенных, нормированных количественных характеристик пока нет.

Следует учитывать, что ключевым моментом является выделение для каждой территории наиболее опасных геологических процессов и явлений, основанное на учете возможных экологического и экономического ущерба при определенных видах техногенного воздействия. Интегральную оценку измененности геологической среды осуществляют несколькими методическими подходами, учитывающими современное состояние геологической среды и степень ее измененности, например методом двухрядной матрицы, методом коэффициентов площадной пораженностиTM и относительной измененностиTM территории и т. д.

Для оценки экологической обстановки территорий при использовании рассмотренных критериев и показателей необходимо выполнять следующие условия:

собирать материалы на основании стандартных и общепринятых методов с обязательной статистической обработкой данных;

проводить анализ данных в лабораториях, прошедших государственную аттестацию и получивших сертификат;

представлять материалы в виде отчетов с обязательными картографическими приложениями;

проводить предварительную обработку полученной экологической информации на ЭВМ по программе «Формализация и обработка первичных данных», предназначенной для сбора, кодирования и предварительной обработки информации.

На этапе проведения экспертизы целесообразен учет более широкого спектра критериев и показателей, а также применение специальных методов исследования экологически неблагоприятных территорий. В процессе работы рекомендуется использовать программу для ЭВМ «Экспертная система Государственной экологической экспертизы».

Программа реализует процедуру выявления экологически неблагополучных территорий. Она использует средства классификации, прогнозирования и принятия решений по прецедентам для анализа социальных, экологических и производственных управленческих решений. Программа реализует математические методы и формальные процедуры, помогающие экспертам решать на основе накопленной информации задачи, связанные с обоснованием и выработкой собственных управленческих решений. Особенность задачи состоит в том, что качество решений определяется большим числом факторов (несколько десятков), причем не всегда присутствуют математические модели, адекватно описывающие ситуацию. В случаях, когда накоплена информация о ситуациях, в которых принимали аналогичные решения, и о результатах, полученных после их реализации, применяют математические методы обобщения прецедентов.

В программе «Экспертная система Государственной экологической экспертизы» реализуются следующие функции:

стандартизация описаний на основе формализации доступной априорной информации об объекте (математическое и информационное моделирование объекта), предварительный статистический анализ массивов прецедентов;

упорядочение и классификация территорий по степени экологического неблагополучия на основе принятых заявок при помощи математических методов, в том числе алгоритмов многокри-

термального выбора и алгоритмов анализа прецедентов;

наглядное визуальное текстовое и графическое отображение показателей, критериев и рассматриваемых вариантов решений;

формирование системы экспертных оценок и обработка решений в режиме диалога с членами Государственной экологической экспертизы;

аргументация и документирование по принятым решениям.

Глава 21 ЭКОЛОГИЯ СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

21.1. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ МЕСТ РАССЕЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Относительно недавно, около 10 тыс. лет назад, с переходом небольших популяций человека в различных регионах планеты (там, где этому особенно благоприятствовали природные условия) от собирательства к примитивному производству земледельческой продукции начинает возникать и формироваться среда постоянного расселения. Этот новый процесс становится причиной определенных изменений во взаимоотношениях между человеком и окружающей природной средой.

Переход от кочевого образа жизни к оседлому, «укоренение» на длительный период в определенной местности закономерно обуславливали преобразование территории в соответствии с запросами и потребностями поселившихся. Изменение образа жизни послужило важным стимулом для начала обустройства быта человека и мест его расселения, как правило, без должного учета экологических ограничений.

В последние годы большое внимание уделяют экологии населенных пунктов (в основном городов), но ухудшение условий мест обитаний, подчас до критических, началось давно. Ж. Б. Ламарк еще в 1820 г. сказал, что предназначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания. Последующие десятилетия дали обширный фактический материал о реальных проявлениях последствий деятельности человека в области его

взаимоотношений с природными системами. В известной мере позволили осмыслить роль человечества в объективных процессах преобразования части первичной биосферы в биотехносферу и перспективы перехода к ноосфере.

Одна из главных жизнеобеспечивающих функций биосферы — «предоставление» живым организмам места обитания, для человека — места расселения. При этом подразумевается территория, занимаемая городскими и сельскими поселениями, которые, в свою очередь, подразделяют на различные группы (табл. 21.1).

21.1. Группы поселений в зависимости от их численности

Группа поселения	Население, тыс. чел.	
	Город	Сельское поселение
Крупнейшие	Более 1000	
Крупные	250...1000	3...5
Большие	100...250	1...3
Средние	50...100	0,2...1
Малые (в том числе поселки городского типа)	10...50	0,05...0,2

Традиционно сохраняются наиболее распространенные места расселения — города и деревни, экологические проблемы которых в общем идентичны, но отличаются по масштабности и интенсивности проявления.

Население России проживает в 1087 городах и в 2022 поселках городского типа. Причем городское население составляет около 73 % (108,1 млн чел.), сельское население — 27 % (39,9 млн чел.), проживающих в селах, деревнях, хуторах.

Расселение людей в различных типах природных систем уже само по себе предполагает формирование или сохранение оптимальных условий для жизни человека. Но даже при заселении самых живописных и экологически благополучных территорий необходимо последовательно решать проблемы сохранения воспроизводственных и защитных функций той или иной природной системы.

Стремление людей упорядочить в меру сложившихся представлений использование заселяемых территорий заложено с древних времен, по существу, с момента выделения растениеводства, а в целом и земледелия. Древние цивилизации стран Ближнего Востока, а в особенности Греции и Рима, оставили потомкам великолепные образцы архитектуры и инженерного искусства по благоустройству территорий.

Развитие цивилизации твердо укрепило человечество в осознании и понятии того, что расселение не может формироваться независимо от естественных условий жизни и вне их. Научная основа такого воззрения базируется на результатах социологических и гигиенических исследований, на основании которых было установлено, что непосредственная близость к природе необходима не только для удовлетворения утилитарных потребностей современного общества (обеспечение населения качественной питьевой водой, чистым воздухом, местами для отдыха, спорта и т. д.). Общение с природой благотворно влияет на психику человека, повышает его работоспособность, является важнейшей предпосылкой устойчивого здоровья и деятельного долголетия. Особое экологическое значение имеет функциональное зонирование территории населенных пунктов на зоны: селитебную, производственную и ландшафтно-рекреационную.

Академик С. С. Шварц отмечал, что мы и наши не столь уж отдаленные потомки не смогут ограничиваться созданием природных парков, в которых будет сохранен природный ландшафт как место отдыха, музей и хранилище генофонда, а сам человек будет жить в каменных джунглях, сооруженных по последнему слову санитарной техники

(кондиционеры и т. д.). Допустим, что мы научились изготавливать синтетическую пищу, кислородом нас обеспечивает химическая промышленность, техника обеспечивает оптимальный гидрологический режим всей планеты. Все это требует колоссального развития техники, но в принципе возможно. В этом случае сможем ли мы обойтись «без природы»? Согласно исследованиям экологов К. Лоренца, Н. Тинбергена, К. Фриша, удостоенных Нобелевской премии, для каждого вида животных характерен определенный стереотип поведения, позволяющий жить и продолжать свой род только в определенной среде (не только в физическом, а что важнее — в психологическом смысле). От психологического аспекта среды не свободен ни один вид животного. Чтобы поддерживать нормальное психофизиологическое состояние, животному требуется естественная для него среда, естественные нервно-психические раздражители, которые нельзя заменить ни витаминами, ни кондиционерами. Как свидетельствуют оценки ВОЗ, современному человеку угрожает не менее 5 тыс. недугов различной степени опасности, т. е. за удобства и комфорт приходится жестоко расплачиваться. Так, С. С. Шварц отмечал, что нервная система человека обладает более высокой способностью адаптироваться к «эволюционно-непривычным» условиям, чем нервная система любого животного. Но вряд ли можно сомневаться в том, что человек не свободен от влияния среды на его психофизиологическое состояние. Единственная «привычная» (в эволюционном плане) среда человека, обеспечивающая его психофизиологическое состояние, — это природа, которая не может быть заменена даже самой лучшей имитацией. Совершенство нервной системы человека создает возможность адаптации к непривычным условиям. Но чем раньше мы зададим себе вопрос: «Какой ценой?» — тем лучше. Однако есть достаточно веские основания полагать, что поддержание (а в ближайшей исторической перспективе — создание) оптимальных природных (естественных) условий всюду, где живут и работают люди, следует рассматривать в качестве одной из важнейших задач обще-

ства. Живая природа, общение с миром живых существ — непереносимое условие поддержания того нервно-психологического настроения, который необходим для оптимального физиологического состояния человека.

При этом, разумеется, весьма важное значение имеет научно обоснованная планировка систем расселения, объективное прогнозирование перспектив их функционирования.

Селитебная зона — это пространство, предназначенное для размещения жилищных массивов, общественных зданий и сооружений, а также отдельных коммунальных и промышленных объектов, являющихся экологически безопасными и не требующими выделения санитарно-защитных зон; устройства путей внутригородского сообщения, улиц, площадей, парков, садов, бульваров и др.

Формирование и обоснованная организация селитебной зоны с учетом экологических требований предполагают:

учет общих экологических параметров данного района, начиная с общих климатических и ландшафтных;

сравнительный анализ состояния окружающей среды по критериям техногенного и климатического потенциала загрязнения или деградации селитебного комплекса;

использование инженерно-экологических характеристик (экологическая емкость территории, биогеохимическая активность природного комплекса, демографическая емкость, репродуктивная способность и т. п.);

учет степени защищенности воздушного и водного бассейнов, почвенно-растительного покрова в результате проводимых охранных мероприятий по ограничению и снижению техногенных нагрузок от промышленных объектов (близко расположенных и удаленных), транспортных систем, процессов химизации земледелия, удаления и утилизации животноводческих и бытовых отходов, обезвреживания особо опасных веществ (радиоактивных, высокотоксичных, канцерогенных).

Так, с территории селитебных зон необходимо вывести производственные и транспортные объекты, оказывающие недопустимые с точки зрения экологии

негативные воздействия, а также предприятия, имеющие санитарно-защитные зоны более 300 м, пути внегородского сообщения и др., решить проблемы ТБО; оптимально разместить экологически опасные объекты (автозаправочные пункты, линии электропередач), допуская минимум воздействия на население; снизить шумовую, вибрационную нагрузку. И, безусловно, важной является последовательная и конструктивная забота о природной системе мест расселения (особенно городских).

Комплексную экологическую оценку селитебных зон проводят по различным демографическим и экономическим показателям (общая площадь территории и общая численность населения, особенности расселения и плотности проживающего населения; площадь неблагоприятных территорий — подверженных просадке, оползням, ускоренной эрозии, сейсмически опасных, лавинно- и селеопасных, подверженных затоплению и затапливаемых лишь в периоды разливов), количественным и качественным характеристикам состояния окружающей среды.

Общепризнанно, что места расселения людей находятся под воздействием устойчиво нарастающих техногенных нагрузок, формирующихся в процессе производственных циклов, в результате влияния транспорта, сельскохозяйственного производства, развития коммунально-бытового хозяйства и т. д. В этих условиях весьма сложно сохранить естественные механизмы поддержания экологического равновесия. Тем не менее, исходя из необходимости обеспечить людей благоприятными условиями проживания, определенную (по крайней мере максимально приближенную к стандартной) экологическую сбалансированность необходимо выдерживать (или восстанавливать, если элементы экологического равновесия утрачены), поскольку одних санитарно-гигиенических методов и способов недостаточно.

Говоря о сохранении, а чаще всего уже о воссоздании условий экологического равновесия для селитебной зоны, во-первых, следует принимать во внимание элементы относительности этого состояния в реальной ситуации. Это и

понятно, если учитывать, что селитебную зону нужно рассматривать не только и не столько как социально-экономическую, а скорее всего, как биоэкономическую (эколого-экономическую) систему, в которой относительное экологическое равновесие поддерживается саморегуляцией, сохранением и воспроизводством основных компонентов — атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвенного покрова, флоры и фауны.

Во-вторых, необходимо соответствие биохимической активности и физической устойчивости природной среды антропогенному воздействию, в том числе наличие соответствующих условий для достаточно активной миграции продуктов техногенеза, для биохимической трансформации загрязнений, стабилизации воздействий инженерных и транспортных нагрузок.

В-третьих, необходимо поддерживать баланс биомассы в ненарушенных, слабонарушенных, а также созданных антропогенной деятельностью биогеоценозах селитебных зон, отвечающих требованиям природно-антропогенных образований.

Такие условия можно воссоздать в малых и средних городских населенных пунктах, а также в сельской местности (разумеется, при надлежащей экологической грамотности населения). Однако при высокой концентрации населения, необходимости обеспечения его рабочими местами, транспортными услугами и т. д. вышеприведенные требования (при современных темпах разрушения и нарушения естественных природных процессов и формировании селитебных зон преимущественно с точки зрения гигиены) представляются довольно-таки отвлеченными. В сказанном нетрудно убедиться, обратившись даже к упрощенному экологическому балансу природных компонентов. Современное

состояние производственной и иной инфраструктуры городов требует значительных территорий, например для поддержания приемлемого экологического состояния воздуха, воды, почв. Это подтверждает ориентировочный баланс компонентов природной среды города с населением 1 млн жителей (табл. 21.2).

Несмотря на важность экологического состояния селитебных зон, до сих пор нет общепринятых понятий и показателей, позволяющих системно оценить фактическое состояние условий проживания населения. Чаще всего применяют показатели заболеваемости взрослого населения (злокачественные новообразования, глазные болезни, заболевания органов слуха, верхних дыхательных путей, органов пищеварения, мочеполовой системы, кожи, гипертоническая и ишемическая болезни и др.), учитывают также относительную заболеваемость взрослых и детей, отклонения от средних показателей. По таким критериям можно лишь косвенно оценить экологическое состояние территории селитебных зон.

Земля представляет место для проживания более 6 млрд чел. При этом значительная часть населения (42 %) проживает в городах. Согласно долгосрочному прогнозу ООН («средний» вариант) в 2000 г. общая численность населения составит 6 млрд 407 млн, из которых 50 % будут горожанами. К 2025 г. ожидается увеличение населения нашей планеты до 8,5 млрд чел. Основным ускорителем процесса урбанизации — промышленная революция. До начала нынешнего века подавляющее большинство населения даже в экономически развитых странах проживало в сельской местности.

Развитие промышленности, транспорта и т. д. стимулировало формирование специфических социально-пространственных форм расселения и

21.2. Ориентировочный баланс компонентов природной среды города с населением 1 млн жителей

Компонент	Территория города, тыс. га	Воспроизводство	Потребление	Дефицит	Территория, необходимая для покрытия дефицита, млн га
Атмосферный кислород, млн т	20	0,025...0,030	10,0	-9,975...-9,970	1,5...2,0
Вода, млн м ³	20	0,005	500,0	=500,0	1,5...2,0
Почвенно-растительный покров для организации мест массового отдыха горожан	20	—	—	—	1,0...2,0

распространение городского образа жизни.

Urbs (лат.) — город. Несколько десятилетий тому назад этот термин начали широко употреблять для характеристики и оценки развития всемирно-исторических процессов концентрации и интенсификации общения, интеграции все более разнообразных форм практической жизнедеятельности человека. В итоге города стали высшей формой организации пространства. Преимущества городских форм расселения имеют в основном экономический и социальный характер. Это и развитая производственная и социальная инфраструктура, коммуникации, и широкие возможности выбора желаемой профессии и получения образования, приобщения к культурным и духовным ценностям.

Вместе с тем высокая концентрация и интенсификация деятельности человека в городе приводят к тому, что окружающая природная среда не в состоянии удовлетворять биологические требования самого человека: сокращается жизненное пространство, город превращается в мощную систему, которая изменяет

почти все компоненты природной среды — атмосферу, гидрографическую сеть и подземные воды, почву и грунты, рельеф, климат, растительность и др. (табл. 21.3).

В городах изменены гравитационное, магнитное, термическое, электрическое поля Земли. Влияние города на глубинные горизонты распространяется до 8 тыс. м. В городском ландшафте иными становятся условия питания подземных вод, меняется их химический состав.

В больших городах ухудшаются физические условия. Здесь поступает на 15 % меньше солнечной радиации; среднегодовая скорость ветра по сравнению с сельской местностью уменьшена на 25 %; на 2...5 °С выше температура воздуха, наблюдается больше облачных и меньше солнечных дней (на 10 %); почти вдвое выше повторяемость туманов, а также характерны смоги (ледяные аляскинского типа, влажные лондонского типа и фотохимические сухие лос-анджелесского типа), представляющие собой образующиеся в результате физико-химических процессов различ-

21.3. Основные показатели, характеризующие воздействие жилищно-коммунального хозяйства на окружающую среду и природные ресурсы России по годам (по данным доклада «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1997 году»)

Показатель	1993	1994	1995	1996	1997	1994 в % к 1993	1995 в % к 1994	1996 в % к 1995	1997 в % к 1996
Выброшено вредных веществ — всего, тыс. т	—	426,4	439,96	657,58	677,68	—	103,2	149,5	103,1
В том числе:									
твердых	—	122,4	135,34	190,51	189,5	—	110,5	140,8	99,5
жидких и газообразных	—	303,9	304,62	467,07	488,1	—	100,2	153,3	104,5
сернистого ангидрида	—	87,1	89,88	127,80	130,51	—	103,2	142,2	102,1
оксида углерода	—	157,1	167,8	254,61	273,03	—	106,8	151,7	107,2
оксидов азота	—	34,7	37,4	58,24	60,433	—	107,8	155,7	103,8
углеводорода	—	20,1	5,31	17,08	15,66	—	26,4	321,7	91,7
Уловлено и обезврежено, %	—	—	11,1	11,1	12,4	—	—	100	111,7
Использовано воды — всего, млн м ³	12497	12718	13143	13317,94	13445,17	101,8	103,3	101,3	101,0
Объем оборотной и повторно используемой воды, млн м ³	213	705	684	656,44	885,55	331,2	97,1	96,0	134,9
Экономия свежей воды, %	12	14	31	28	34	116,7	221,4	90,3	121,4
Водоотведение в поверхностные водоемы — всего, млн м ³	13458	13745	13732	13611,21	13617,62	102,1	99,9	99,1	100,0
В том числе:									
загрязненных	12298	12590	12504	12071,83	12053,03	102,4	99,3	96,5	99,8
из них:									
без очистки	1305	1317	1258	1149,55	1121,14	100,9	95,5	91,4	97,5
нормативно чистых	81	79	64	60,34	99,81	97,1	80,9	94,3	165,4
нормативно очищенных	1029	1020	1165	1479,04	1464,78	99,1	114,2	127,0	99,0

ные сочетания аэрозольных и газообразных выбросов и капель тумана либо возникающие из-за разложения загрязняющих веществ солнечными лучами, особенно ультрафиолетовыми. Печально известен, например, наблюдавшийся в 1952 г. смог в Лондоне, который унес более 4 тыс. жизней.

В больших городах активно концентрируются мощные антропогенные нагрузки. Сами же города — это особая, искусственно поддерживаемая среда обитания, которая всецело зависит от жизнеобеспечивающих ресурсов, поступающих извне. В этой среде происходит разрыв естественных круговоротов веществ, нарушены механизмы самовосстановления и самоочищения, которые свойственны естественным природным системам. Потоки же отходов и загрязнений, образующиеся в городах, являются серьезной экологической угрозой для всей биосферы.

Существуют разные методы расчета площади селитебной зоны, необходимой для поддержания жизни 1 чел. Так, по некоторым оценкам, на 1 чел. требуется примерно 100 м² жилых и производственных помещений, 100 м² под инфраструктуру (дороги, линии энергопередач и т. п.), 12 тыс. м² пастбищ и сенокосов, 4,6 тыс. м² сельскохозяйственных полей и 700 м² леса для поглощения выделяемой углекислоты и получения кислорода, итого 17,5 тыс. м². По другим оценкам, площадь «необходимой» территории колеблется от 1 до 2 га (10...20 тыс. м²) на человека (Агранат, 1988). Исходя из таких оценок, с учетом того, что из 149 млн. км² суши 49 млн км² непригодны для проживания (ледники, пустыни, высокогорья и т.д.), делают вывод о возможности размещения на Земле примерно 5,7 млрд чел.

Оценивая так территорию России, можно говорить о резерве территории для размещения людей и о возможности увеличения численности населения, даже если учесть, что немалую часть российских земель занимают районы с крайне дискомфортными для жизни условиями. Такие расчеты породили иллюзии о большом запасе территориальных ресурсов и привели к экологической беспечности и безответственности.

На самом же деле территориальные ресурсы ограничиваются не указанными цифрами, а условиями, обеспечивающими на той или иной территории возможность поддерживать в результате деятельности естественных сообществ живых организмов наиболее благоприятную для жизни среду.

Для исследования причин ухудшения экологического состояния селитебных зон и последующих выработки и принятия мер по улучшению существующей обстановки в городской среде применяют различные осредненные показатели, действующие как нормативы; это — укрупненные показатели потребности в селитебной зоне, удельная площадь озелененных территорий селитебных зон и т. п. Соответствие потребности в селитебной зоне определяют сравнением фактических данных для населенного пункта с принятым нормативом. Так, в городах при средней этажности жилой застройки до 3 этажей укрупненный показатель селитебной зоны в расчете на 1000 чел. составляет Юга; 4...8 этажей — 8; 9 этажей и более — 7 га. В сельских поселениях с преимущественно усадебной застройкой норматив селитебной зоны на 1000 чел. составляет 50 га.

Современный большой город, будучи сложной системой, является мощным фактором изменения природной среды не только в пределах городских границ, но и вне их. Например, повышенная концентрация загрязнений вокруг Москвы отмечается до 100 км от города.

Очевидно, что динамично развивающиеся процессы урбанизации объективно отражают современные тенденции социально-экономического развития. Размах и характер урбанизации таковы, что демографы начали оперировать понятием «гиперурбанизация». Действительно, города не просто множатся и растут. Расползаясь вширь, они сливаются друг с другом и образуют агломерации (системы населенных пунктов, объединенных в одно целое хозяйственными, трудовыми, бытовыми и культурными связями). За рубежом возникли суперагломерации — конурбации. Крупнейшие из них в США: Босваш (Бостон — Вашингтон), Чипиттс

(Чикаго — Питтсбург), Сансан (Сан-Франциско — Сан-Диего). Считается, что только эти три мегаполиса (от греческих слов «огромный» и «город») к 2000 г. вберут до 150 млн жителей (свыше 50 % населения США). А в начале XXI в. на Земле предположительно будет уже более 160 таких урбанических колоссов.

В России развивается около 30 крупнейших агломераций, которые занимают всего 6 % обжитой (заселенной) территории, но концентрируют более 60 % городского населения. Высокая степень урбанизированности отмечается в Центральном, Центрально-Черноземном, Северо-Кавказском и Уральском регионах. Например, Московская агломерация включает уже более 130 населенных пунктов в радиусе до 100 км от столицы; Сочинская вытянулась на 150 км узкой полосой вдоль Черного моря. Агломераций с числом жителей более 500 тыс. в нашей стране насчитывается не один десяток.

Большая техногенная нагрузка на территорию наиболее крупных агломераций (Московская, Санкт-Петербургская, Тульская, Ярославская, Воронежская, Саратовская, Челябинская, Новосибирская, Кемеровская и др.) является причиной значительной напряженности экологической обстановки.

Диспропорции роста крупнейших городов ведут к нарастающим трудностям управления их хозяйством, к существенному обострению имеющихся и возникновению новых сложнейших экологических проблем.

В первой половине нынешнего века крупнейшие городские центры, стягивая к себе громадные массы населения, переживали период переуплотнения, оказывающего устойчиво нарастающее негативное воздействие на городскую среду. Деградация условий жизни послужила причиной переселения более состоятельного населения в пригород. Но разрастающиеся пригороды одного крупного города уже начинают смыкаться с пригородами другого, образуя гигантские аморфные массивы урбанизированной территории. В Японии такой «сверхгород» постепенно захватывает все Южное побережье острова Хонсю. «Сверхгород» стихийно формируется и в США, например на Атлантическом по-

бережье, где быстро исчезают интервалы между отдельными городами в полосе от Бостона до Вашингтона протяженностью почти 900 км.

Подобные гигантские городские образования уже в процессе возникновения оказывают разрушающее воздействие на окружающую среду, угрожая в недалеком будущем возникновением кризисных экологических ситуаций, которые могут охватить обширные территории. Переуплотненность, интенсивность транспортного движения, напряженность жизненного ритма, утрата контакта с природой и прочее вызывают нарастающее давление на психику людей, ведут к ее перенапряжению и нервным стрессам.

Крупные городские образования дают ряд преимуществ в отношении эффективной организации современных производств, кооперирования их с другими отраслями. Однако чрезмерная концентрация промышленности в индустриальных центрах усложняет решение транспортных проблем, затрудняет снабжение энергетическими, водными и другими видами ресурсов, радикально меняет всю экологическую среду обитания, существенно ухудшая санитарно-гигиеническую обстановку со всеми вытекающими последствиями (рис. 21.1). В крупнейших городах по сравнению с небольшими втрое увеличиваются удельные затраты на благоустройство и инженерное оборудование. Вместе с тем в них значительно меняются (притом в худшую сторону) медико-демографи-

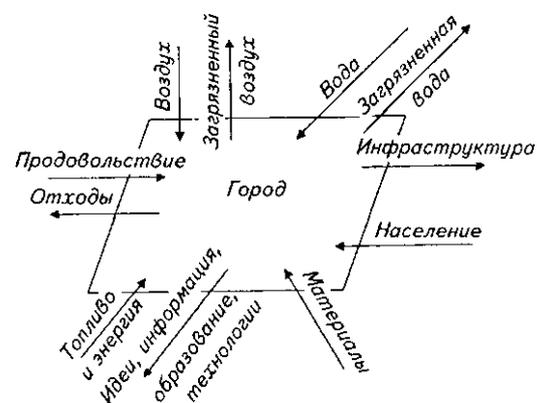


Рис. 21.1. Схема модели основных поступлений в город и их выбросов

ческие показатели, что в немалой степени связано с загрязнением атмосферного воздуха, вод и почв. Для оценки экологического состояния селитебных зон Российской Федерации рекомендуется использовать критерии, основные из которых приведены в таблице 21.4.

21.4. Медико-демографические критерии здоровья населения для оценки экологического состояния территорий

Показатель	Зона	
	экологического бедствия	чрезвычайной экологической ситуации
Увеличение смертности	В 1,5 раза и более	В 1,3...1,5 раза
Медико-генетический показатель (увеличение частоты врожденных пороков развития у новорожденных)	То же	То же
Онкологические заболевания (заболеваемость, смертность)	В 2 раза и более	В 1,5... 2 раза
Генетические нарушения — увеличение частоты генетических нарушений в клетках человека (хромосомные aberrации, разрывы ДНК)	В 3 раза и более	До 3 раз
Психическое развитие детей:		
доля детей с отклонениями психического развития	20% и более	10...20%

На исходе XX в. с точки зрения экологии ключевой проблемой является возможность деградации человека как биологического вида, что уже прослеживается в ряде регионов мира, в том числе и в России. Как свидетельствуют оценки РАН и Минздрава России, в стране проживает около 4 % умственно неполноценных людей, а в некоторых регионах — 10...12 %; каждый год рождается более 200 тыс. младенцев с генетическими и хромосомными нарушениями, которые пока не поддаются лечению. Отравление начинается еще в утробе матери, поскольку эмбрион жадно хватается все токсины.

В Конституции Российской Федерации (статья 42) в Законе «Об охране окружающей природной среды» (раздел II) определены права граждан, обеспечивающие каждому реальные возможности для проживания в условиях благоприятной для жизни и здоровья окружающей природной среде.

Однако крупномасштабное экологическое неблагополучие и низкий социально-экономический уровень жизни большинства людей, обусловленный кризисным состоянием экономики, дают совсем иной результат (рис. 21.2).

Задачи, направленные на решение экологических проблем селитебных зон, заключаются прежде всего в разработке основных направлений сохранения благоприятных природных условий, а чаще всего — в восстановлении утерянных свойств благополучия территорий, используемых человеком для постоянного проживания.

Разработка научных основ экологии мест расселения человека на современном этапе основывается главным образом на качественных показателях оптимального состояния воздушной среды, питьевой воды, продуктов питания. Эти составляющие непосредственно влияют на состояние здоровья населения. Однако процессы деградации экологической системы селитебной зоны закладываются гораздо раньше. Они явно опережают заметные отклонения в состоянии здоровья населения. Поэтому важно заблаговременно их предотвратить или устранить. Следовательно, основой экологической оптимизации мест расселения являются два взаимопересекающихся процесса, находящихся в постоянном взаимовлиянии одного на другой: первый — воздействие изменений природной среды на человека и второй — степень воздействия самого человека на изменения природной среды. Должного вни-

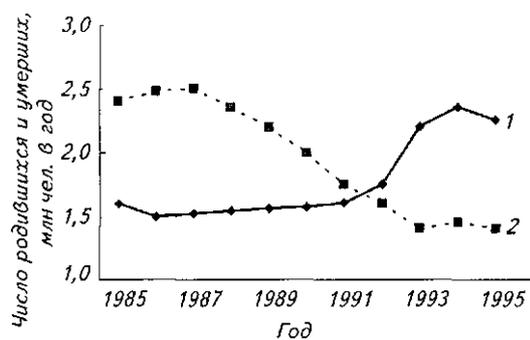


Рис. 21.2. Динамика рождаемости и смертности населения Российской Федерации:

1 — число умерших; 2 — число родившихся

мания требует регламентирования этого воздействия, т. е. разработка обоснованных норм по изменению не только качественных, но и количественных параметров окружающей природной среды.

21.2. ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЫ

Селитебную зону, как уже отмечалось, человек использует как многофункциональную систему. Здесь реализуются потребности людей не только в воспроизводстве следующих поколений (детей, внуков, правнуков), но и в промежуточном восстановлении сил (отдых после рабочего дня), в длительном отдыхе (пенсионный период); производят продукцию на приусадебных участках в сельских населенных пунктах, садово-огородных и дачных участках.

Эти обстоятельства определяют формирование на селитебной территории многоструктурной системы быта, включающей различные воздействия: транспортные (постоянно увеличивающееся число личных автомобилей, другой техники, например мотоблоков); мелкопроизводственные (земледелие на приусадебных участках, всевозможный ремонт техники и бытовых вещей в жилых массивах городов); животноводческие (домашние животные в подсобном хозяйстве, резкое увеличение числа собак и кошек в городских квартирах, значительное число бездомных животных). Такие воздействия при выполнении соответствующих нормативных требований в общем несложны для управления.

Особое место среди возможных воздействий в современных селитебных зонах занимают воздействия, связанные с изменением физических параметров.

Как известно, под загрязнением понимают привнесение в окружающую среду или возникновение в ней новых, обычно нехарактерных для нее химических, физических и биологических соединений или превышение в рассматриваемое время естественного средне-многолетнего состояния или концентрации этих агентов. Зачастую любая из перечисленных форм загрязнения приводит к негативным последствиям, из-

меня естественное состояние одного или большинства природных компонентов, что может сказаться (или сказывается) в конечном итоге на здоровье человека. Разумеется, что вышеназванные формы загрязнения не действуют изолированно. Чаще всего наблюдается совместное физическое и химическое загрязнение (например, фотохимический смог), в результате чего значительно ухудшается экологическая обстановка.

Физическое загрязнение — это загрязнение, обусловленное изменением физических параметров среды: температурно-энергетических (тепловое), волновых (световое, шумовое и электромагнитное загрязнения), радиационных (радиационное и радиоактивное загрязнения).

Электромагнитное загрязнение, будучи формой физического загрязнения опасной электромагнитным излучением, возникает в результате изменения электромагнитных свойств среды (от линий электропередачи, радио и телевидения, работы некоторых промышленных и бытовых установок).

Рассматривая экологические аспекты электромагнитного загрязнения, уместно прежде всего вспомнить о естественном электромагнитном фоне Земли. Электромагнитные поля (ЭМП) являются одним из постоянных элементов среды обитания человека и всех живых существ.

Геомагнитное поле Земли — это фактор окружающей среды, в условиях которой происходила многовековая эволюция организмов. Оно воздействует на все живое, в том числе и на человека. Так, в периоды магнитных бурь увеличивается число сердечно-сосудистых заболеваний. Постоянные магнитные поля в повседневной жизни создаются различными промышленными установками, некоторыми аппаратами и др.

Земля, как известно, обладает избыточным электрическим зарядом. По этой причине на ее поверхности существует напряженность электрического поля. Значение ее слабо меняется во времени и составляет 100...200 В/м («напряженность электрического поля хорошей погоды»). При грозовой облачности напряженность на земной по-

верхности может возрасти до нескольких киловольт. При низкой облачности в горах наблюдаются случаи коронирования выступающих металлических предметов, что свидетельствует о напряженности в 10...20 кВ/м.

Процесс формирования и функционирования биотехносферы существенно расширил масштабы воздействия искусственных электромагнитных полей. Все более обостряющаяся проблема воздействия искусственных электромагнитных полей на сегодняшний день не имеет законченных решений. Между тем вокруг любого источника и проводника, находящегося под напряжением, распространяется электромагнитное поле. Селитебная зона практически находится в своеобразном «электромагнитном смоге». Этому невидимому для человека фактору пока не уделяется должного внимания. Однако степень его воздействия на биологические системы предполагается достаточно значимой.

Электромагнитное излучение в зависимости от электромагнитных волн, обладающих различной энергией, проявляется по-разному. В порядке повышения энергии излучения различают технический переменный ток, радиоволны, микроволны, тепловое (инфракрасное) излучение, видимый свет, ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение и гамма-излучение.

Особенно опасны для человека излучения высоких энергий — рентгеновские и гамма-излучения; в меньшей степени — ультрафиолетовое и микроволновое. Электромагнитные поля, возникающие при прохождении тока по проводам (технический переменный ток), также оказывают отрицательные воздействия.

Проблема электромагнитного загрязнения селитебной зоны достигла не меньшей остроты, чем химического. Число источников электромагнитных полей постоянно возрастает, расширяется спектр используемой бытовой электроаппаратуры, внедряются новые системы мобильной связи. Электромагнитные излучения от объектов различного целевого назначения, созданных человеком, в сотни раз больше среднего естественного поля. По имеющимся оценкам, средняя ежедневная доза

электромагнитной радиации в 200 раз превышает природный фон, формируемый солнечной радиацией и другими естественными источниками. По данным Госкомэкологии России, в 1996 г. превышение санитарных норм по параметрам электромагнитных полей наблюдалось на 18,9% промышленных предприятий (из 2742 обследованных), на 23 % объектов жилищно-коммунального хозяйства (из 1956 обследованных), на 10,3 % объектов транспорта (из 668 обследованных).

Наиболее мощные источники электромагнитного излучения — телевизионные и радиостанции, радиолокационные станции, линии передач электрического тока сверх- и ультравысокого напряжения на большие расстояния.

Транспортировка электроэнергии, осуществляемая магистральными линиями электропередач (ЛЭП) напряжением 500, 700 и 1150 кВ, создает проблему биологического действия электрического поля промышленной частоты.

Сверхвысоковольтные ЛЭП обычно не проходят по территории населенных пунктов. Но в отдельных случаях они пересекают дачные поселки, усадьбы, приусадебные участки, сады, огороды и т. п. Около 80 % ЛЭП размещены по пахотным угодьям, где периодически могут находиться люди, выполняющие сельскохозяйственные работы (вблизи ЛЭП и под ними). Эти земли рекомендуются использовать для выращивания культур, не требующих ручного труда, а применяемые здесь механизмы и машины должны быть заземлены.

Поля, создаваемые ЛЭП, распространяют свое влияние на большие территории. Так, площадь полосы шириной 50 м под линиями с напряжением 300 кВ и более для вместе взятых России и США составляет около 8000 км², что почти в 8 раз превышает территорию Москвы.

Установлено воздействие ЛЭП на здоровье населения (усталость, ухудшение самочувствия и аппетита, нарушения психики и памяти, возникновение аллергических реакций, появление обморочных состояний и головных болей, увеличение смертности лиц пожилого возраста от сердечных приступов и др.).

При изучении воздействия электри-

ческих полей на животных наблюдали изменения обмена микроэлементов (железа, марганца, меди и др.), увеличение щитовидной железы, что характеризует ее способность концентрировать радиоактивный йод, содержания глюкозы в крови.

Имеются сведения о подавлении и стимулировании активности микроорганизмов под действием постоянного электрического тока. Отмечено влияние электромагнитного поля на морфологию бактериальных клеток, их рост и размножение, ферментативную активность, а также на патогенные свойства. Перечисленные особенности обуславливают интенсивность микробных процессов в природе. Таким образом, электромагнитные поля представляют важный экологический фактор.

Деревья, высокие кустарники и растения служат эффективными естественными защитными экранами от воздействия ЛЭП. В то же время не исключается негативное воздействие электрических полей промышленной частоты на гибель лесов в результате образования озона. Для снижения интенсивности электрического поля до гигиенически допустимых значений для селитебной зоны проводят планировочные и технические мероприятия. Так, в целях защиты населения рекомендуют устанавливать санитарно-защитные зоны: по обе стороны от проекции на землю крайних фазных проводов шириной 20 м — для ЛЭП напряжением 330 кВ; 30 м - 500 кВ; 40 м - 750 кВ; 55 м - 1150 кВ. На эти расстояния следует особенно обращать внимание в связи с расширяющимися процессами освоения малоудобных и низкопродуктивных земель.

На территории Российской Федерации действуют нормативные документы, которые регламентируют предельно допустимые уровни (ПДУ) электромагнитного неионизирующего излучения в радиочастотном диапазоне от технических средств радиосвязи, радиовещания и телевидения [«Электромагнитные излучения радиочастотного излучения (ЭМИРЧ). Санитарные нормы и правила», 1996; «Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых систе-

мами сотовой радиосвязи. Гигиенические правила», 1995], а также ряд методических документов.

Согласно экспертным оценкам Госкомэкологии России в целях обеспечения безопасности окружающей среды и человека от электромагнитных излучений необходимо:

проведение фундаментальных медико-биологических исследований по установлению нормативов ПДУ облучения (производственного персонала, населения и биотических составляющих экосистем) во всех диапазонах частот, учитывающих совместные действия частот как одного, так и нескольких частотных диапазонов и специфику излучений технических средств;

разработка на основе результатов этих исследований гигиенической и экологической документации, недостающей методической документации и измерительного оборудования по проведению мониторинга;

проведение мониторинга технических средств, излучающих электромагнитную энергию, с целью их сертификации и лицензирования;

картографирование и создание банка данных об электромагнитной обстановке на основе результатов мониторинга;

разработка методов и средств защиты от биологического действия ЭМП, средств обеспечения пожаро- и взрывобезопасности материалов и веществ и соответствующей нормативно-методической документации.

Специфическая форма физического загрязнения окружающей среды селитебных зон — акустическое (шумовое). Мир звуков — неотъемлемая составляющая среда обитания человека, многих животных, неразличен он (как свидетельствует ряд исследований) и некоторым высшим растениям. Шелест листьев, плеск волн, шум дождя, пение птиц, аккорды высокой музыки — все это привычно и органично необходимо человеку. Абсолютная тишина, как правило, пугает и угнетает людей. Так, при строительстве конструкторского бюро в Ганновере были предусмотрены всевозможные меры, чтобы в здание не проник ни один посторонний звук с улицы: рамы с тройным остеклением, звукоизоляционные панели из ячеистого

бетона и специальные пластмассовые обои, гасящие звук. А через неделю сотрудники стали жаловаться, что не могут работать в условиях гнетущей тишины. Они нервничали, теряли работоспособность. Администрации пришлось поставить магнитофон, который, автоматически включаясь время от времени, воспроизводил эффект «тихого уличного шума». Рабочая атмосфера не замедлила восстановиться (Никитин, Новиков, 1986).

Между тем разнообразные и многомасштабные процессы техногенеза существенным образом изменили и меняют естественное акустическое поле биосферы, что проявляется в шумовом загрязнении окружающей природной среды, ставшем серьезным фактором негативного воздействия. Согласно сложившимся представлениям шумовое загрязнение — одна из форм физического (волнового) загрязнения окружающей среды, адаптация организмов к которому невозможна. Обусловлено оно превышением естественного уровня шума и ненормальным изменением звуковых характеристик (периодичности, силы звука и т. п.) на рабочих местах, в населенных пунктах и других местах вследствие работы транспорта, промышленных устройств, бытовых приборов, поведения людей или иных причин.

Как городские, так и многие сельские селитебные зоны испытывают высокую шумовую нагрузку. Антропогенный шум стал патологическим явлением, являясь неизбежным спутником технического развития. В селитебной зоне слуховой анализатор постоянно напряжен и звуковое «перенасыщение» воспринимается человеком как акустическая помеха, ведущая к шумовому дискомфорту.

В зависимости от силы и длительности действия шум способен причинить ощутимый вред здоровью. Многолетнее воздействие шума ведет к повреждению органов слуха человека, возможности развития тугоухости и даже глухоты. Измеряют силу шума в белых (Б).

Шум как фактор загрязнения селитебной зоны воспринимается людьми довольно-таки индивидуально; дифференциация восприятия шумовых воз-

действий меняется и по возрастам, а также в зависимости от темперамента, общего состояния здоровья, особенностей слуховой адаптации и др. Орган слуха человека может приспособляться к некоторым постоянным или повторяющимся шумам, но во всех случаях эта приспособляемость не защищает от возможного возникновения и развития какого-либо патологического процесса. Шумовые раздражения — одна из причин расстройства сна. Прервать и изменить глубину сна могут даже небольшие (около 35 дБ) шумовые воздействия. Последствия этого — хроническая усталость, нервное истощение, сокращение продолжительности жизни, которое, по данным австралийских исследователей, может достигать 8...12 лет. Шкала силы звука приведена на рисунке 21.3.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003—83 «Шум. Общие требования безопасности» в 1997 г. на территории Российской Федерации проведено более 500 тыс. замеров силы шума, которые выявили значительное превышение безопасных пределов шумовой нагрузки.

Шумовой стресс характерен для всех высших организмов. Особенно же отчетливо он выражен у людей как эмоциональное и физическое напряжение, обусловленное постоянным акустическим дискомфортом, ведущим к заметному ухудшению здоровья. Шум, превышающий 80...90 дБ, влияет на выделение гормонов гипофиза, контролирующих выработку других гормонов. Например, может возрасти выделение кортизона из коры надпочечников. Кортизон ослабляет борьбу печени с вредными для организма веществами. Под влиянием такого шума происходит перестройка энергетического обмена в мышечной ткани. Чрезмерный шум может послужить причиной возникновения язвенной болезни.

Отмечаются также функциональные нарушения в организме, проявляющиеся в изменении активности мозга и центральной нервной системы, повышении давления. По данным Всемирной организации здравоохранения, реакция на шум со стороны нервной системы начинается при 40 дБ, а при 70 дБ и более возможны существенные ее нарушения.

При гигиеническом нормировании

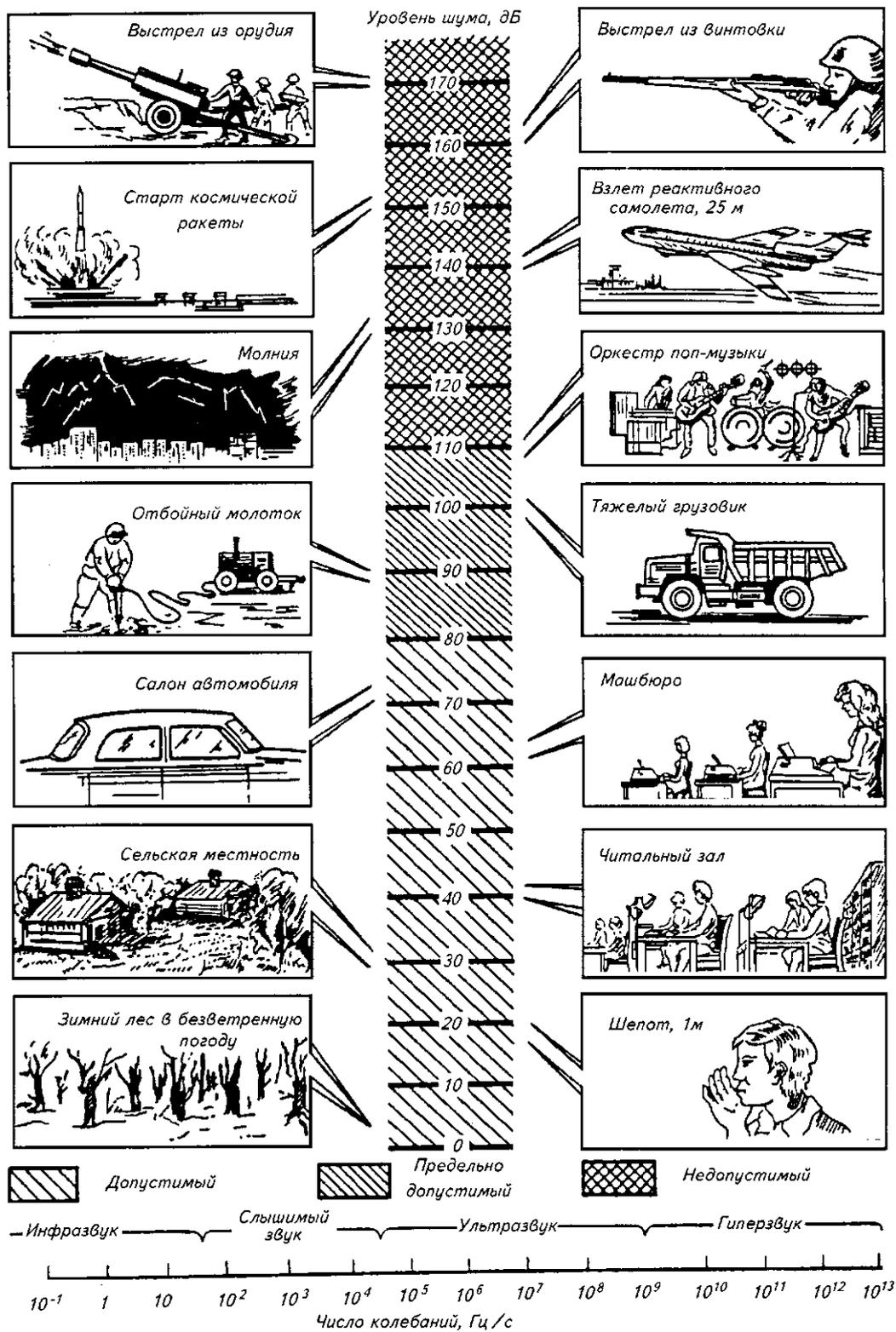


Рис. 21.3. Шкала силы звука (шума)

допустимым считают такую силу шума, которая не нарушает звуковой комфорт человека, не вызывает у него неприятных ощущений и при длительном воздействии не наблюдается изменений в комплексе физиологических показателей, отражающих реакции наиболее чувствительных к шуму систем организма (в первую очередь нервной системы). Нормирование шумов проводят в соответствии с Санитарными нормами допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки.

Одно из целесообразных, экологически обоснованных направлений борьбы с шумом — максимальное озеленение территорий. Растения обладают исключительной способностью задерживать и поглощать значительную часть звуковой энергии, особенно звуки высокой частоты. Густая живая изгородь способна в 10 раз уменьшать шум, производимый машинами. Причем древесные породы, особенно лиственные, эффективнее кирпичной или бетонной стены. Наибольшей звукопоглощающей способностью обладает живая изгородь из деревьев и кустарников. Согласно имеющимся наблюдениям существенный звукозащитный эффект (до 70 % в летнее время) получают при четырехрядной полосе деревьев и кустарников. Еще одна особенность древесных культур заключается в их способности изолировать шум. Доказано, что наивысшей звукоизолирующей способностью обладают зеленые перегородки из клена (до 15,5 дБ), тополя (до 11 дБ), липы (до 9 дБ) и ели (до 5 дБ).

В целом проблема уменьшения шумового загрязнения является достаточно сложной, и решение ее должно основываться на комплексном подходе, включающем систему технических и организационных методов и мероприятий. С решением проблем шума связано и регулирование вибрационного фона окружающей среды.

В середине 80-х годов были разработаны и введены в действие рекомендации по оценке ущерба от загрязнения акустической среды населенных пунктов, позволяющие рассчитывать экономическую эффективность противошумовых мероприятий.

При регламентации физических воздействий существенное значение имеют экологическая грамотность и культура населения. Зачастую человек сам усугубляет обстановку, направляя на себя или принимая внешние воздействия, связанные с бытом или развлекательными мероприятиями, например увлечение микроволновыми установками, музыкальным шумом. Распространенным явлением среди молодежи стало звуковое «опьянение» — возбуждение, возникающее в результате резонанса клеточных структур в ответ на громкие ритмические звуки. Это состояние аналогично алкогольному опьянению или наркотическому одурманиванию. Сила шума, создаваемая современной электромузыкой, достигает 130 дБ, что превышает болевой порог.

В последнее десятилетие внимание исследователей и практиков привлекает явление акустической эмиссии, предшествующее разрушению объектов, обвалам горных пород в шахтах, землетрясениям и пр.

Экологические проблемы селитебной зоны не ограничиваются только воздействием рассмотренных физических факторов. Как уже отмечалось, интегральным показателем экологического благополучия селитебной зоны является состояние здоровья проживающего на ней населения, которое находится также в прямой зависимости от состояния атмосферного воздуха, от качества питьевой воды и продуктов питания, даже от состояния почв данной территории. Однако и сама селитебная зона является мощным фактором воздействия на окружающую природную среду.

Согласно оценкам Л. А. Пак и А. И. Чекереса (1979), при увеличении численности населенного пункта в среднем на 10 тыс. чел. концентрация загрязняющих веществ в его атмосфере возрастает на 0,383 %. Прослеживается довольно четкая связь между плотностью населения и загрязнением воздуха в расчете на 1 тыс. га городской территории. С увеличением плотности населения повышается загрязненность. Если в среднем при плотности населения городов и городских поселков 20 чел. на 1 тыс. га она не превышает 12 усл. ед., то

при увеличении плотности вдвое (до 40 чел. на 1 тыс. га) возрастает до 50 усл. ед. и т. д. Небезынтересно, что если при плотности населения 25 чел. на 1 тыс. га (районы аграрного направления) загрязненность достигает 10 условных единиц, то в районах, более развитых в промышленном отношении, — 33.

Санитарно-эпидемиологическая служба Российской Федерации ежегодно собирает информацию о состоянии окружающей природной среды и его влиянии на здоровье людей. Так, в начале 90-х годов результаты анализа около 2 млн проб водопроводной воды и около 90 тыс. проб поверхностных вод показали, что более 50 % населения России используют для питья воду, не соответствующую гигиеническим требованиям.

Согласно государственному докладу «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1997 году» источниками централизованного водоснабжения служат поверхностные (68 %) и подземные (32 %) воды. Централизованные системы водоснабжения имеют 1078 городов (99 % общего числа), 1686 поселков городского типа (83 %), около 34 тыс. сельских населенных пунктов (22 %) России. Среднее удельное водопотребление в Российской Федерации на хозяйственно-питьевые и коммунально-бытовые нужды составляет 272 л/сут на 1 жителя, а в Москве — 539 л/сут. При этом практически все поверхностные источники водоснабжения подвержены существенному воздействию вредных антропогенных факторов, поэтому качество поставляемой воды не соответствует нормативным требованиям. Качество используемых для водоснабжения подземных вод в основном соответствует нормативным требованиям, однако из-за повышенного загрязнения водоисточников, в том числе солями тяжелых металлов, традиционно применяемые технологии обработки воды стали в большинстве случаев недостаточно эффективными. В 1997 г. по России более 20 % исследованных проб питьевой воды не соответствовало санитарным нормам по химическим и более 10 % по микробиологическим показателям. Наиболее сложное положение с каче-

ством подаваемой населению питьевой воды отмечается в Архангельской, Кемеровской и Мурманской областях, Приморском крае, Республиках Дагестан, Карелия, Якутия и др.

В соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) с 1992 г. контроль за состоянием воды включает определение 100 показателей, большая часть которых непосредственно влияет на здоровье. Главным требованием к качеству воды, поступающей в селитебную зону из местных поверхностных и подземных источников или сопредельных территорий, является ее безопасность в эпидемиологическом отношении. По данным ВОЗ, около 80 % всех инфекционных заболеваний связано с плохим качеством используемой воды. Число людей на нашей планете, болеющих в связи с загрязнением (химическим и биологическим) потребляемой воды, составляет почти 2 млрд чел. В немалой степени этому способствует одна из нерешенных (и очень трудно решаемых) проблем селитебных территорий — утилизация бытовых отходов.

21.3. ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЫ. ВОЗДЕЙСТВИЕ ИХ УТИЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ НА АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Любая селитебная зона объективно является устойчивым источником поступления в окружающую природную среду огромного количества отходов производства и отходов потребления.

Отходы производства представляют собой остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, которые образуются при изготовлении продукции, выполнении работ и частично или полностью утраченные первоначальные потребительские свойства.

Отходы потребления (бытовые отходы) — это разнообразные по составу и физико-химическим свойствам отходы бытовой деятельности людей.

Как отходы производства, так и отходы потребления представляют серьезную угрозу природной среде, являясь источником ее биотического, механического, химического и иных видов за-

грязнения, ухудшая ее санитарно-эпидемиологические, оздоровительные и эстетические качества.

По фазовому состоянию, влияющему на выбор методов и средств хранения, транспортировки и переработки отходов, их классифицируют на твердые, жидкие, газообразные и энергетические. По санитарно-гигиеническим признакам отходы подразделяют на инертные, слаботоксичные растворимые в воде, слаботоксичные летучие, токсичные растворимые в воде, токсичные летучие, содержащие нефть (масло), органические легко разлагающиеся, фекалии, хозяйственно-бытовой мусор. Токсичные отходы имеют свою классификацию.

Твердые бытовые отходы (ТБО) в процессе образования представляют рассредоточенный негативный фактор, в формировании его участвует каждый житель. При удалении из селитебной зоны ТБО последовательно трансформируются в сосредоточенный фактор серьезного воздействия на природу. В этом нетрудно убедиться, обратившись, например, к средним показателям накопления ТБО в некоторых странах (табл. 21.5).

21.5. Производство ТБО в различных странах

Страна	Количество ТБО, производимых в стране за год	
	на душу населения, кг	общее, млн т
США	744	178
Австралия	681	10
Канада	635	16
Голландия	449	6,5
Дания	423	2
Швейцария	383	2,5
Великобритания	355	18
Япония	344	41
Франция	327	18
ФРГ	318	19
Швеция	317	2,5
Испания	275	10,5
Италия	263	15
Австрия	228	1,7
Португалия	211	2,5

Увеличение накопления ТБО свидетельствует, несомненно, об изменениях, происходящих в образе жизни людей. В частности, более широкое распространение получают различные предметы домашнего обихода, обогащается их ассортимент и т.д. Необходи-

мость разработки экологически обоснованных приемов трансформации неизбежно продуцируемых масс отходов при современном уровне переработки и «присвоении» природного вещества обществом вызвана не только проблемой ТБО. Несовершенство современных технологий производственной сферы не позволяет более глубоко или полностью перерабатывать минеральное сырье, большая часть его возвращается в природу в виде отходов. По некоторым данным, конечная годовая продукция составляет 1...2 % общего объема используемого сырья, а все остальное идет в отходы, что свидетельствует не только о нерациональном подходе к ресурсам, но и о несовершенстве производственных систем. На примере города с населением 1 млн жителей хорошо видно, что при суточном потреблении 625 тыс. т воды, 2 тыс. т пищи и 9,5 тыс. т топлива взамен образуются ощутимые объемы газообразных (950 т), жидких (570 тыс. т) и твердых (2,5 тыс. т) отходов.

В крупных агломерациях и городах количество твердых отходов столь значительно, что даже процесс удаления их с жилых территорий становится сложной проблемой. В США, например, ежедневно требуется 63 тыс. мусоровозов. С улиц Нью-Йорка в течение года удаляют более 8 млн т бытовых отходов. И главной становится проблема — куда их девать?

Отходы производства и потребления на территории России также представляют серьезную экологическую проблему.

Исходя из данных официальной отчетности, можно заключить, что на территории Российской Федерации на санкционированных и несанкционированных отвалах, хранилищах, свалках и полигонах, занимающих примерно 250 тыс. га земли, к началу 1994 г. накопилось около 86 млрд т твердых отходов производства и потребления (более 530 т на каждого жителя страны). Коммунальные отходы составляют 140 млн м³, или 42 млн т (около 280 кг на 1 чел.). Из этой массы лишь 5 % поступает на мусоросжигательные заводы, остальное — на полигоны и свалки. В 1997 г. городские территории «продуцировали» 130 млн м³ (примерно 39 млн т)

ТБО и 60 млн м³ жидких бытовых отходов. Из общего количества твердых отходов промышленными методами переработано 3 %, а остальные захоронены на полигонах.

На территории России размещены также значительные объемы токсичных промышленных отходов, количество которых на начало 1997 г. составляло 1431,7 млн т. В течение 1997 г. на предприятиях образовалось 89,4 млн т токсичных отходов, в том числе I класса опасности — 0,28 млн т, II — 2,17 млн, III — 4,95 млн, IV класса — 82 млн т. Отходы, не подлежащие использованию и переработке, направляют на захоронение. 1112 участков организованного захоронения отходов занимают 14,15 тыс. га, 935 таких объектов (84%) отвечают действующим нормативам. Однако в местах неорганизованного складирования (несанкционированные свалки) отмечают постоянное увеличение токсичных отходов. Так, в 1996 г. 209 т промышленных отходов I класса опасности было направлено в места неорганизованного складирования, что особенно опасно.

Отходы, занимая большие площади, служат источником загрязнения почв, воздушной среды, водных объектов. Тем более что не все места организованного захоронения отходов соответствуют действующим нормам. Разнос пыли ветром отмечается в радиусе более 10 км, оказывая прямое воздействие на почвенный покров. Некоторые отвалы нередко самовозгораются и дымят, загрязняя атмосферу. В период осадков дождевые и талые воды, проходя через отвалы, загрязняются высокотоксичными соединениями. Вокруг отвалов сформировались опасно зараженные зоны. Эти негативные явления характерны практически для всех населенных пунктов России. Так, почти 30 % отходов промышленности Москвы вывозится из города без какого-либо количественного и качественного контроля. Ежегодно образуется около 3 млн т отходов на заводах и фабриках столицы. Огромное количество осадков очистных сооружений, а также строительный мусор вносят свой вклад в экологическую обстановку агроландшафтов Подмосковья. На полигонах предприятий области

накоплено свыше 60 млн т твердых промышленных отходов (ТПО) и 120 млн т иловых осадков сточных вод очистных сооружений (ОСВ). На площади 120 тыс. га Подмосковья имеется 350 свалок, неблагоприятное экологическое воздействие которых распространяется на десятки километров.

Удаление и полное обезвреживание ТБО — трудноосуществимая гигиеническая проблема, особенно усложняющаяся в условиях возрастающей урбанизации. Сложность проблемы обусловлена, во-первых, постоянным увеличением массы отходов, а во-вторых, расширением ассортимента содержащихся в них компонентов.

Осредненные характеристики современного состава продуцируемых отходов приведены на рисунках 21.4 и 21.5. Между тем, как известно, ни один вид не способен существовать среди образуемых им отходов.

Отмечается постепенное увеличение в отходах полимерных материалов. Поэтому опасно сжигать их, так как при этом активно образуются диоксины.

Размещение и обезвреживание отходов непосредственно в населенных пунктах недопустимо. Тем не менее во



Рис. 21.4. Состав твердых бытовых отходов



Рис. 21.5. Твердые производственные отходы

многих местах пользуются самыми примитивными способами уничтожения бытового и уличного мусора: сжигание в естественной среде на улицах и во дворах без каких-либо технических устройств, что ведет к опасному загрязнению атмосферы жилых массивов. До сих пор сохранилась практика закапывания отходов в землю (без разделения их разлагающейся и инертной составляющих) в расчете на минерализующую способность почв. Решить проблему таким путем невозможно.

В результате образования все большего количества ТБО в городах почва городских территорий и их окрестностей подвергается возрастающим негативным нагрузкам.

Увеличение отходов повсеместно угрожает состоянию экологического равновесия. Например, деградируют грунтовые и подземные воды, которые за счет свалок «обогащаются» остатками разлагающейся органики, железа, свинца, цинка, красителями, моющими средствами, лекарствами и т. д.

В последние годы расширяются исследования, направленные на разработку основ обеспечения экологической сбалансированности природной среды селитебных зон; изучаются, в частности, количественные и качественные характеристики твердых отходов, которые могут привести к нарушению и деградации природных систем селитебных зон.

Твердые отходы представляют собой огромную ежегодно производимую массу разнообразных веществ, распространяемых по планете (от горной породы до продуктов частичной и полной переработки сырьевых материалов). Вследствие очень медленного разложения твердые отходы накапливаются на планете весьма интенсивно; при этом нельзя не учитывать высокую концентрацию токсичных веществ, ограниченные территориальные возможности для создания полигонов и свалок (страны Европы, Япония). Ситуация с отходами приобретает кризисный характер. И закономерно, что особую актуальность приобрели поиски способов и приемов обезвреживания и захоронения отходов, максимально отвечающих экологическим требованиям.

Требуется комплексное решение задач утилизации и ликвидации отходов, включающее одновременное использование рассматриваемых ниже методов. Необходимы банки данных по отходам и способам их переработки, поотраслевой учет отходов, внедрение принципов экономического стимулирования, соответствующая законодательная база. Как показывает опыт, в странах, где имеются законы об отходах, их утилизация решается лучше.

В последние годы апробируются различные мероприятия, направленные на уничтожение свалок — опасных спутников городов: бытовые отходы сортируют, перерабатывают в удобрения для сельского хозяйства или даже в жидкое топливо; часть отходов вывозят и используют для заполнения отдаленных от селитебной зоны старых карьеров, оврагов, балок и т. д.

В целом же характерна повсеместная нерешенность проблемы бытовых отходов.

Согласно различным оценкам в среднем на Земле около 29 % мусора сжигают, более 60 % вывозят на свалки, около 4 % компостируют и около 6 % подвергают другим способам переработки. Данные, характеризующие основные направления утилизации отходов в разных странах, приведены в таблице 21.6. Следует отметить, что пока используют в основном свалки и сжигание.

21.6. Утилизация мусора в некоторых странах

Страна	Доля мусора,			
	сжигаемого	вывозимого на свалки	компостируемого	% перерабатываемого другим способом
США	8	82	0	10
Великобритания	2	98	0	0
Канада	6	93	0	1
Дания	32	64	4	0
Швейцария	80	18	2	0
Япония	72	24,5	1,5	2
ФРГ	28	69	2	1
Испания	5	76	19	0
Франция	36	47	8	9
Италия	18,5	35	5,5	41

Поиск наиболее безопасных способов утилизации твердых отходов стал без преувеличения жизненно важным вопросом.

Наибольшее распространение как

способ удаления твердых отходов получило использование автотранспорта. Однако дальность вывоза сдерживается ростом транспортных затрат. Наиболее простой способ — городские свалки, но это неудовлетворительно в санитарно-гигиеническом отношении (загрязняются почва и подземные воды; на свалках обилие мух, нашествие крыс). Размещение отходов на открытых свалках, хотя их и располагают на расстоянии не менее 1 км от населенного пункта, — вынужденная мера. Улучшенный способ захоронения отходов — свалка мусора в заранее вырытые канавы с последующим его уплотнением (трамбовкой) и засыпкой слоем земли толщиной 70...80 см, который снимают при рытье канав.

Однако и такой «улучшенный» вариант удаления и обезвреживания отходов экологически не обоснован. Недостатки его прежде всего в том, что объемы отходов постоянно возрастают и для их утилизации требуется все больше площадей земли. Свалки бытовых отходов имеют, разумеется, «срок жизни», имеется в виду процесс пространственного переполнения данного участка массой отходов, хотя экологически период их последствия бесконечен. Обычно свалки периодически утрамбовывают, засыпают слоем грунта, а при закрытии плотно укрывают почвой. В таких закрытых захоронениях накоплено более 1,5 млрд т отходов. Это объекты с опасным содержанием токсикантов, высокой радиоактивностью.

Для достижения относительного санитарно-гигиенического и экологического благополучия внедряют более обоснованные системы захоронения отходов (рис. 21.6).

Данная схема (способ) захоронения отходов предусматривает систему защиты окружающей среды. Для этого устанавливают следующие требования: полигон с отходами необходимо располагать значительно выше уровня грунтовых вод (на возвышенности); дно полигона предварительно изолируют уплотненным слоем глины; для отвода фильтрата и метана наносят слой щебня; слой мусора укладывают друг на друга в пирамидообразную насыпь; полигон оборудуют скважинами и резервуарами для перехвата фильтрата.

Сжигание мусора с гигиенической точки зрения является наиболее приемлемым способом обезвреживания. Не случайно он получил достаточно широкое распространение в различных странах. Для улучшения процесса сжигания ТБО строят все более совершенные печи. Первые же мусоросжигательные заводы с их невысокими трубами сильно загрязняли воздух, в который попадало значительное количество пыли и пепла (до 13 мг/м³). Современные предприятия оснащены специальным оборудованием, пригодным для сжигания не только обычных отходов, но и отходов поливинилхлорида и других синтетических материалов. Трубы новых заводов более высокие и оснащены электрическими пылеулавливающими фильтрами. При этом способе обезвреживания отходов сокращаются расходы на их транспортировку, что дает ощутимый эффект. Однако из-за несовершенства процессов сжигания возникают дополнительные экологические проблемы. В газах, выбрасываемых мусоросжигательными заводами, содержатся опасные соединения (табл. 21.7).

21.7. Средние концентрации загрязняющих веществ в мусоре и отходящих газах

Вредное вещество	Содержание вредного вещества	
	в 1 кг ТБО, г	в 1 м ³ дымовых газов, мг
Хлористый водород	3,9	780
Фтористый водород	0,04	∞
Диоксид серы	3,3	660
Оксиды азота	1,3	260
Угарный газ	2,0	400
Углеводороды	1,5	300

Современные технологии мусоросжигательных заводов предусматривают рекуперацию (улавливание) тепла, удаление взвеси, газулавливание, использование компьютерного контроля за полным уничтожением отходов или их переработкой. Многие отходы обезвреживают с помощью процессов инцинирации. В зависимости от их опасности различают высокотемпературную инцинирацию, промышленные обогреватели и горелки, промышленные печи. Работа мусоросжигательных заводов также основана на процессах инцинирации. Только высокотемпературные процессы пригодны для инцинирации токсичных

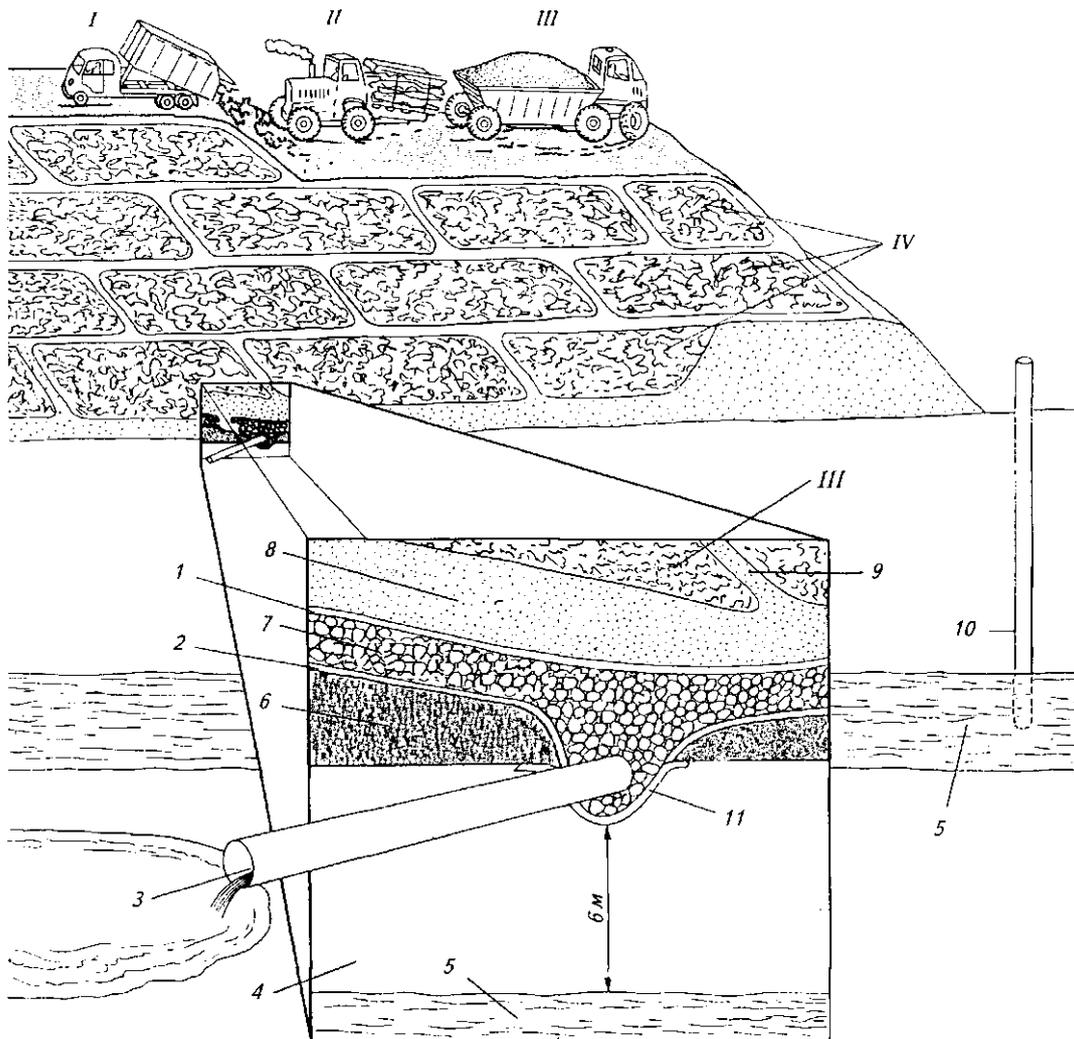


Рис. 21.6. Схема экологически обоснованного захоронения отходов:

I—выгрузка мусора; II—уплотнение; III—засыпка; IV— отсеки с мусором; 1 — фильтрующий слой войлока; 2 — тканое стекловолокно; 3 — резервуар для сбора фильтрата; 4 — система дренажа фильтрата; 5 — грунтовые воды; 6 — непроницаемая плотная глина толщиной 20...30 см; 7 — слой щебня толщиной 15...20 см; 8 — проницаемый слой толщиной 15...20 см; 9 — земляная засыпка; 10 — мониторинговая скважина; 11 — пластмасса

отходов. Сжигание отходов при температуре около 500 °С стимулирует образование диоксинов, полициклических ароматических углеводородов, выпадающие ряды тяжелых металлов. На сложные задачи их улавливания накладываются нерешенные проблемы воздействия на водные ресурсы. В процессе влажной очистки дымовых газов образуются сточные воды, содержащие хлориды, фториды и тяжелые металлы. Их необходимо подвергнуть дальнейшей об-

работке и обезвреживать путем химического осаждения, флокуляцией, седиментацией (опять концентрируются опасные вещества в виде осадков). Кроме того, остающиеся после сжигания шлаки тоже надо где-то складировать. В целом на 1 т сжигаемого мусора образуется 350 кг остаточных веществ. Не исключено, что они могут оказаться вблизи агроэкосистем.

В России работают семь мусоросжигающих заводов (два в Москве и по од-

ному во Владивостоке, Владимире, Мурманске, Пятигорске, Сочи) и два мусороперерабатывающих (в Санкт-Петербурге и Нижнем Новгороде).

Создавая индустрию утилизации отходов, каждая страна отдает предпочтение крупным городам, так как поступающую массу отходов можно использовать в виде источников сырья или энергии. Основная задача — возвращение отходов в материальный круговорот. Различные направления данного процесса носят общее название «рециклиция»:

это повторное использование тары, бутылок;

возврат отходов после соответствующей обработки в производственный цикл (жестяных банок — в производство стали, макулатуры — в производство бумаги, стеклобоя — на производство стеклотары);

сжигание отходов после соответствующей обработки для получения энергии (изношенные автопокрышки служат топливом на цементных заводах).

При этом, разумеется, необходима соответствующая сортировка отходов (рис. 21.7).

Рециклиция отходов имеет важное экологическое значение. Вместе с тем затраты на сортировку и обработку превышают экономический эффект от возврата сырья. Целевая установка любого производства должна быть направлена на минимизацию отходов.

На современном этапе рыночных отношений эколого-экономические решения утилизации отходов требуют детальных проработок для конкретных районов. Для условий городских поселений России, отличающихся большим разнообразием, отсутствуют осмысленные и апробированные схемы раздельного сбора различных видов бытового мусора (бумага, металлы, пластмассы, растительные остатки, стекло и т. д.). В связи с этим рассмотренная выше технологическая схема сортировки вряд ли скоро получит широкое распространение. Тем более что оборудование дорогостоящее, а расходы по эксплуатации достаточно высоки.

Рассматриваются также варианты использования ТБО в качестве топлива, исходя из высокого содержания в быто-

вом мусоре органической составляющей (рис. 21.8). Такой подход вполне обоснован. Сжигание отходов для получения энергии — некий средний вариант между идеальной рециклицией и простым захоронением. После сжигания отходов в энергетических целях остается около 20 % объема исходного. Эту остаточную массу можно использовать, например, при строительстве дорог. При сжигании 2 тыс. т нерассортированного мусора можно получить энергию для 60 тыс. сельских домов. Кроме непосредственного сжигания в качестве источников энергии можно использовать метан, образующийся в больших количествах на территории свалок при разложении растительных и животных отходов без доступа воздуха. Теплотворная способность 1 м³ такого биогаза соответствует 0,6 л мазута. Для сравнения: одна корова в сутки производит навоза, достаточное для получения 1,7 м³ биогаза.

В Германии, Голландии и других странах уже эксплуатируется немало биогазовых установок. В Московской области в 1996 г. открыта опытно-промышленная установка по утилизации биогаза свалок вблизи г. Мытищи, что очень важно, так как ежегодная масса

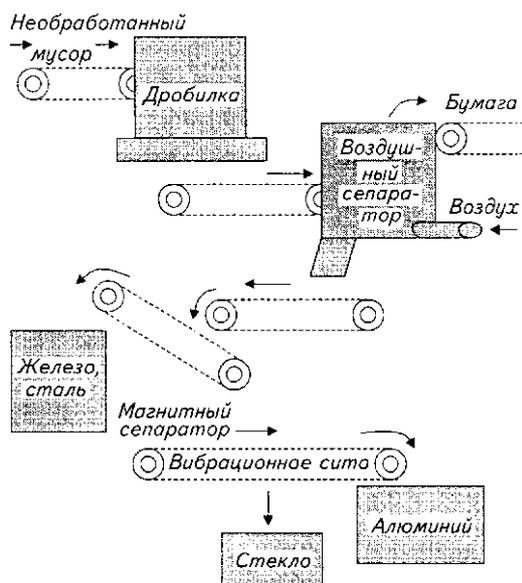


Рис. 21.7. Технологическая линия по сортировке твердых бытовых отходов

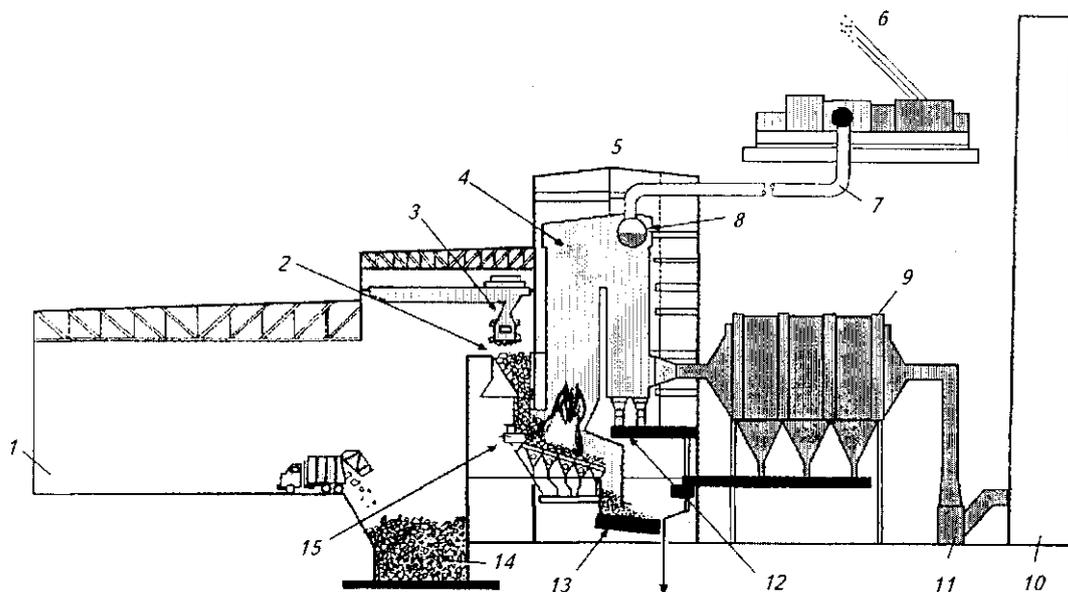


Рис. 21.8. Технология превращения твердых бытовых отходов в электроэнергию на примере электростанции «Signal resco», работающей на мусоре:

1 — крытая подъездная площадка; 2 — загрузочный бункер; 3 — кран; 4 — котел; 5 — пар, подаваемый на турбогенератор; 6 — электроэнергия; 7 — турбогенератор; 8 — паровой барабан; 9 — электростатический фильтр; 10 — дымоход; 11 — вытяжной вентилятор; 12 — котельная зола; 13 — вибропитатель; 14 — накопитель горячего мусора; 15 — гидравлический кулачковый питатель

биологических отходов здесь составляет более 4 млн т. По технологии голландской компании «Грантмай» в результате их переработки в биогаз предлагается получать энергию, которой можно обеспечить около 100 тыс. домовладений.

В последние годы Госкомэкология России проводит серьезную работу по формированию отвечающей современным требованиям правовой базы в области обращения с отходами производства и потребления.

Важное природоохранное значение имеет также федеральная целевая программа «Отходы» (утверждена в 1996 г.). Цели и задачи программы следующие: концентрация финансовых, материально-технических и других ресурсов, интеграция производственного и научного потенциала для решения проблемы обращения с отходами; экономия природных ресурсов в результате максимального вовлечения отходов в хозяйственный оборот; реализация пилотных проектов по переработке и обезврежива-

нию отдельных видов для последующего тиражирования проектов в целях решения проблемы накопленных в стране отходов; создание системы управления отходами, построенной на основе организационно-управленческих, нормативно-правовых, информационных и контрольных регуляторов.

Реализация вышеназванных программных мероприятий позволит: перерабатывать каждый год около 55 млн т отходов; обеспечить экономию первичного сырья, материальных и топливно-энергетических ресурсов на 20...25 % (должно производиться более 40 видов товарной продукции различного назначения, прибыль от реализации которой составит 693,6 млн руб. в год); существенно уменьшить площади земель, отводимых под полигоны, отвалы и хранилища отходов, и вести в хозяйственный оборот значительные массивы земельных угодий, занятые в прошлом отвалами; сформировать рынки ресурсосберегающих и малоотходных технологий и оборудования по переработке и

обезвреживанию отходов; активизировать процесс конверсии ВПК (военно-промышленного комплекса).

Согласно расчетам экономическая оценка предотвращенного ущерба составляет 2013 млн руб. в расчете на год.

Очевидно, что осуществление перечисленных программных положений поможет значительно сократить отрицательное воздействие отходов на окружающую природную среду в районах их образования и складирования. Это будет способствовать уменьшению заболеваемости и смертности населения, предотвращению уничтожения животного и растительного мира, росту продуктивности сельского хозяйства, высвобождению для хозяйственных нужд десятков тысяч гектаров земли, а в конечном итоге — решению социальных проблем.

Нельзя, однако, не отметить, что средств из федерального бюджета на реализацию программы практически не выделяется.

Территориальные органы Госкомэкологии России осуществляют постоянный государственный экологический контроль за обращением с отходами, отслеживая соблюдение юридическими и физическими лицами установленных нормативов и природоохранных требований при работе с отходами. В частности, в сферу их компетенции входят выдача разрешений на размещение отходов и лицензий на те или иные виды деятельности, связанные с обращением с отходами на территории данного субъекта Федерации, инвентаризация мест хранения и захоронения отходов и оценка их состояния, а также влияния на окружающую природную среду и т. д.

21.4. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ

В процессе функционирования АПК кроме природной среды, занятой агроэкосистемами, значительные земельные площади отведены под поселения, территория которых является наиболее преобразованной составной частью агроландшафта.

В аграрных поселениях сосредото-

чены ценности, обеспечивающие материальные, технологические, социально-экономические и экологические условия жизни сельских жителей.

Особенность размещения сельских поселений — значительная рассредоточенность по территории сельскохозяйственных районов. Поскольку основная функция поселений — обслуживание сельскохозяйственного производства — они, тяготея к сельскохозяйственным угодьям, образуют вместе с ними сельскую местность, сельский мир или своеобразную сельскую среду обитания.

Издавна человек селился с таким расчетом, чтобы в окружающей среде той или иной природной системы он мог произвести продукты питания, строительные материалы для сооружения жилья; обеспечить себя водой и топливом; удовлетворить другие потребности членов своей семьи и, наконец, всей общины. Важнейшее значение в выборе места для поселения отводилось также возможностям связи с другими поселениями. Поэтому чаще всего села размещали по берегам рек и озер, у почтовых трактов, вдоль торговых путей и др. Со временем сформировались довольно сложная сеть и типологическая структура сельских поселений России, обслуживающие аграрный сектор страны.

Занимаемое сельским поселением место в иерархической системе сельского расселения дает определенные плюсы и минусы как экономике сельскохозяйственного предприятия, так и проживающему в нем населению. Поэтому основой в сельском расселении были и остаются число и структура сел по функциональной значимости в пределах каждого сельскохозяйственного предприятия. Увеличение числа сел в пределах одного предприятия приближает их к сельскохозяйственным угодьям, уменьшает внутривозрастные транспортные издержки, способствует более эффективному использованию земли за счет своевременного проведения сельскохозяйственных работ на полях, фермах и т.д., но увеличивает затраты на строительство и эксплуатацию небольших сел и межселенные коммуникации, ухудшает социально-экономические условия жизни селян. Уменьшение числа

сел на той же производственной территории приводит к удалению их от сельскохозяйственных угодий, увеличивает внутрихозяйственные транспортные издержки, усложняет своевременный уход за сельскохозяйственными угодьями, но зато сокращает затраты на строительство и эксплуатацию сел и межселенных коммуникаций, улучшает культурные, бытовые, коммунальные и социально-экономические условия жизни в крупных селах.

Велико влияние сельскохозяйственного производства на окружающую природную среду, но наибольшая антропогенная нагрузка на природные комплексы отмечается в местах концентрации хозяйственно-бытовой и рекреационной деятельности сельских жителей. В первую очередь это относится непосредственно к сельским поселениям, а также территориям, прилегающим к ним.

На усадьбах сельскохозяйственных предприятий в зимнее время экологическая обстановка ухудшается из-за того, что на их территории имеется по нескольку котельных, размещаемых порой без учета санитарно-гигиенических норм и, как правило, не имеющих систем очистки выбросов. В отопительный период воздушный бассейн сел задымляется также и индивидуальными отопительными установками.

Как результат неудачного функционального зонирования в некоторых селах из производственной зоны в селитебную попадают неприятные запахи с животноводческих, птицеводческих и других комплексов, не переведенных еще на малоотходные и безотходные технологии производства сельскохозяйственной продукции.

В весенне-летне-осеннее время экологические условия в селах ухудшаются за счет прогонов по нему личного скота на участки выпаса и обратно, а также из-за беспорядочного движения техники.

Отрицательно влияет на окружающую природную среду сел ежегодная пастьба личного скота на постоянно теряющих продуктивность общественных пастбищных угодьях. Это приводит к нарастающему загрязнению прилегающих к селу земель и водоемов, оскуде-

нию и снижению продуктивности пастбищ, к ветровой, водной, тропочной и овражно-балочной эрозии выпасаемых участков, а в целом — к экологической деградации прилегающих к селу экосистем и ландшафтов.

Подтопление, засоление и заболачивание территорий поселков в результате нарушения гидрологического режима — беда многих сел, имеющих централизованные системы тепло- и водоснабжения.

Территории близлежащих к городу сел нередко находятся в зонах резко выраженных геохимических аномалий, поэтому порой их поля и огороды дают продукцию, не соответствующую требованиям экологической безопасности. Особенно это относится к пригородным селам крупных городов.

Суровые климатические условия отдельных регионов затрудняют выращивание древесно-кустарниковых насаждений, поэтому площадь их в селах обычно меньше градостроительных норм. В тех же селах, где зеленых насаждений много, их часто высаживают без достаточного учета ландшафтно-декоративных свойств и биологической совместимости.

При отсутствии объездных дорог проходящий по селу транспорт создает повышенную опасность, загрязняет села выхлопными газами, создает шумовой дискомфорт.

В результате натурных обследований выявлены различные виды негативных экологических явлений в селах и на прилегающих к ним территориях. В порядке убывания доли их в формировании экологического неблагополучия распределены в следующем порядке:

1. Загрязнение хозяйственно-бытовыми отходами и навозом пастбищ, лесов, водоемов, оврагов, понижений и др.
2. Нарушение земли карьерами, транспортом и др.
3. Истощение пастбищ.
4. Загрязнение территории сел навозом и мусором.
5. Выпас скота в лесу.
6. Неорганизованные свалки строительного мусора.
7. Неупорядоченное движение техники.

8. Неснятие плодородного слоя земли при строительных работах.
 9. Растекание навозной жижи.
 10. Излишняя химизация.
 11. Загрязнение почвы нефтепродуктами.
 12. Навоз ферм на свалках мусора.
 13. Неприятные запахи различных производств.
 14. Отсутствие или ненадежная работа очистительных сооружений.
 15. Слив нечистот в овраги и балки.
 16. Опахивание сел.
 17. Опахивание водоемов.
 18. Затопление лугов и пастбищ.
 19. Бесконтрольное строительство плотин.
 20. Низкий уровень благоустройства сел.
 21. Летние лагеря вблизи водоемов.
 22. Разливы стоков из септиков по селу.
 23. Засорение отдыхающими мест отдыха и развлечений.
 24. Бесконтрольный сбор грибов и ягод.
 25. Нерегулируемые прогоны скота по селу.
 26. Выход хоздворов усадеб к водоемам.
 27. Отсутствие водоохраных насаждений.
 28. Трупы павших животных у ферм.
 29. Распашка низкопродуктивных угодий.
 30. Истощение водоемов в результате поливов.
 31. Стоки излишков поливной воды в водоемы.
 32. Распашка водосборных территорий.
 33. Опахивание лесных массивов и лесополос.
 34. Изрезанность территории линиями электропередач.
 35. Нарушение правил хранения минеральных удобрений.
 36. Нарушение правил водозабора.
 37. Водопой скота непосредственно из водоемов.
 38. Вырубка леса у сел.
 39. Нарушение стока поверхностных вод.
- Более 90 % названных негативных экологических явлений — результат производственной деятельности. Из

них 55 % связаны с непосредственным загрязнением окружающей среды, а 45 % — с истощением, деградацией и нерациональным использованием природных ресурсов. Указанных негативных последствий можно было избежать, если бы осознание серьезности экологической проблемы села находилось на более высоком уровне. Ведь загрязненные территории сел и прилегающих к ним ландшафтов в прошлом, по опросам старожилов, в таких масштабах не наблюдали, за нарушение строго осуждали и наказывали.

Традиционно человек селился вблизи привлекательных элементов ландшафта, что часто отражают названия сел: Боровое, Лесное, Озерное, Полянка, Речное, Родники и другие, не менее поэтические названия. Думается, пора обратить внимание и предпринять необходимые меры ради сохранения естественного природного окружения в сельской местности. Ведь не секрет, что деградация природы и человека — это взаимосвязанные явления. В процессе духовного возвышения сделать первые шаги — протянуть руку помощи природе — должен человек, знающий, что любая его деятельность, включая и производственную, вредна, если она не ориентирована на попутное получение социального и экологического эффектов.

Анализ приведенных ранее негативных экологических явлений в селах и на прилегающих к ним территориях позволяет составить представление о их структуре по происхождению.

Из общего числа негативных экологических явлений наибольшая доля (до 20 %) приходится на строительную деятельность и личное подсобное хозяйство, затем следует хозяйственно-бытовая сфера (19,5%), далее — животноводство (15%), транспорт, сельскохозяйственная техника и местная промышленность (14%), земледельческая деятельность (11 %) и рекреационная (0,5 %).

Строительная деятельность на селе пока что имеет довольно низкое качество и отличается пренебрежительным отношением к элементам природы. Строители, как правило, плодородный слой под объектами строительства чаще всего не снимают и не хранят. Строи-

тельные площадки захламлены, земля разворочена, строительные отходы выбрасывают во внешнюю зону села. Все это обезображивает и разрушает природную среду сельской местности.

В животноводстве все еще не удается наладить надежную утилизацию навоза, чтобы не загрязнять землю, воздух и водоемы. В то же время наблюдается огромный дефицит органики в земледелии. При проектировании, строительстве и реконструкции предприятий по производству животноводческой продукции обязательно необходимо предусматривать цехи по переработке навоза и навозной жижи в органические удобрения. Тем более что, как свидетельствует мировая практика, уже давно работают животноводческие комплексы, где экскременты животных на основе технологии метанового сбраживания перерабатывают в биоэнергетических установках. В результате окружающая среда не загрязняется, на выходе получается витамин В¹², высококлассное органическое удобрение и газ метан. Сжигая его, комплексы полностью снабжают себя энергией. Кроме того, замыкается издавна существовавшая связь: животноводство — растениеводство. В целях энерго- и ресурсосбережения в животноводстве некоторых стран уже широко распространена утилизация тепла молока и животных; строят термостатические здания для содержания скота. В результате наблюдается снижение абсолютного производства электроэнергии и уменьшение энергозатрат на производство единицы продукции. Мировое животноводство использует, особенно при пастбищном содержании животных, альтернативные источники энергии — солнечную и ветровую.

Ощутимые негативные экологические последствия несут автотранспорт и сельскохозяйственная техника. Они перемещаются порой по сотне направлений от села к селу. Чем ближе к селу, тем больше направлений движения, тем больше уничтожено растительного покрова, искорежено земли. На территориях вдоль сельских дорог часто встречаются места вынужденных остановок техники на обслуживание и ремонт. Приметы таких остановок — брошенная у дороги резина, масляные фильтры,

загрязненная нефтепродуктами земля, множество отработавших свое не только деталей машин, но и целых агрегатов, кузовов, кабин, рам и т. д. По расчетам некоторых экономистов, только в АПК СНГ накопилось столько металлолома, что если приостановить добычу руды, то его запасами можно обеспечить предприятия металлургии в течение 10 лет. Немалый вред водным ресурсам наносит мойка техники по берегам рек. Сооружение в пунктах обслуживания техники моек с оборотным использованием воды позволяет исключить загрязнение водных ресурсов нефтепродуктами. Это хорошо известно, но считается чем-то второстепенным, а то и надуманным.

В связи с повсеместным отсутствием организованных свалок хозяйственно-бытовой мусор, смешанный часто с отходами от личного подсобного хозяйства, вывозят не только в специально отведенные, но и в неотведенные места, образуя вокруг сел своеобразные пояса загрязнений.

Менее негативна рекреационная деятельность сельских жителей. Она проявляется в несоблюдении отдыхающими правил поведения на берегах водоемов, в лесах. В близрасположенные к селам леса почти повсеместно забредают скот, в результате этого леса деградируют. Поедаемый скотом подрост в лиственных лесах — это местообитание гнездящихся там птиц — охранителей леса. Без подростка лес не может жить. Кроме того, скот разрушает грибницы, наносит ущерб ягодным местам. Тщательно выедавая в хвойном лесу травостой, он разрушает местообитание гнездящихся там птиц.

В порядке убывания положительные экологические явления распределяются так: охрана и воспроизводство животных; создание зон отдыха; благоустройство и озеленение территории сел; правильное размещение ферм; цехов и огородов; рекультивация нарушенных территорий; восстановление природных объектов; строительство искусственных водоемов, разведение в них рыбы и др. Во многих селах большое внимание уделяют их зеленому наряду, снего- и ветрозащитному озеленению. Под защитой лесополос уменьшается продуваемость и снегозаносимость сел и бригадных

станов, снижается инфильтрация зданий и сооружений. В летнее время зеленые насаждения защищают людей от солнечной радиации, а здания — от перегрева, понижают температуру и повышают влажность воздуха, противостоят пыльным бурям, улучшают эстетический вид населенных пунктов. Привлекательная птица, насекомых, зверей и других животных, деревья и кустарники обогащают тем самым экосистему поселения, делают ее более устойчивой, разнообразят искусственную среду обитания, способствуют ликвидации недостатка общения человека с природой.

Российские села несложно сделать «ландшафтными», формирующимися не вопреки природе, а в полном согласии с ней, обогащая, но ни в коем случае не упрощая ее. В этом видится одно из стратегических направлений конструктивной экологии сел: сопряженное гармоничное развитие поселенческой и природной среды.

В целях уменьшения негативного воздействия личного подсобного хозяйства и животноводства необходимы организованный вывоз навоза, строительство навозохранилищ, удаление близкорасположенных к селам и водоемам животноводческих ферм, летних лагерей. Необходима также очистка сел и площадей, окружающих их, от бытовых и производственных отходов, складирование их в специально оборудованных и отведенных для свалок специальных местах.

Оценивая экологические явления в селах и их внешних зонах, можно отметить следующие обобщающие моменты:

1. Четверть общего числа негативных явлений связана с земледелием и животноводством (основное производство), а три четверти приходится на все другие виды деятельности жителей села.

2. Больше всего подвержены негативным воздействиям земельные ресурсы сел — самые ценные ресурсы, являющиеся основой производственной деятельности. По числу видов негативных воздействий земельные ресурсы сел также стоят на первом месте; за ними в порядке убывания частоты негативных воздействий располагаются водные и растительные ресурсы, животный мир и атмосферный воздух.

3. Более половины негативных экологических явлений (60 %) отмечается близ сельских населенных пунктов.

4. Природное окружение центральных усадеб сельскохозяйственных предприятий деградировано и загрязнено в большей мере, чем в периферийных селах.

Экологическую обстановку современных сел необходимо улучшать, осуществив меры, способствующие приближению села к модели экологически чистого:

1. Ускорение инженерного оборудования и благоустройства сел; улучшение их гидрологического режима.

2. Расширение работ по устройству на территории сел твердых покрытий площадей, площадок, транспортных, пешеходных и хозяйственных путей, широко используя для этих целей экологически чистые природные материалы.

3. Упорядочение движения автомобилей, тракторов и другой сельскохозяйственной техники по селу и прилегающим к нему территориям.

4. Проведение озеленительных работ в целях смягчения неблагоприятного воздействия климата при более полном учете декоративных свойств и биологической совместимости древесно-кустарниковых насаждений, а также с учетом привлечения в село птиц, животных и насекомых.

5. Совершенствование функционального зонирования и архитектурно-планировочной структуры сел в процессе их реконструкции.

6. Перевод производственных и других служб на мало- и безотходные, энерго- и ресурсосберегающие технологии, на производство экологически безопасной продукции.

7. Очистка пустырей в селе и на прилегающих к нему территориях от различных хозяйственно-бытовых отходов, не поддающихся естественному разложению.

8. Устранение разрушения и полное восстановление нарушенного почвенно-растительного комплекса, включающего в себя дерн, почву, травянистую и древесную растительность.

9. Экологизация пространственных форм организации личного подсобного хозяйства.

10. Создание организованных свалок мусора и навозохранилищ.

11. Улучшение санитарно-гигиенических и эпидемиологических условий в селах.

12. Организация управления охраной окружающей среды в хозяйстве; финансирование природоохранной деятельности.

13. Повышение осознания сельским населением экологических проблем сельской среды обитания.

14. Формирование системы специально охраняемых природных территорий в границах агроландшафта (микрозаказники, зоны покоя и др.).

15. Охрана, улучшение и рациональное использование местных рекреационных ресурсов для организации отдыха.

Реализация этих мероприятий, подчас не требующих больших затрат, несомненно, приблизит современное село к оптимальным условиям функционирования. При этом, разумеется, перво-

степенным является решение сложнейших социально-экономических проблем аграрного сектора.

Существует небезынтесная идея (Сен-Марк, 1977) при оценке состояния селитебных зон оперировать индексом жизненной среды. По мнению Ф. Сен-Марка, Индекс жизненной среды = Индекс биологического богатства + Индекс художественного богатства + Индекс научного богатства. Наиболее сложный — Индекс биологического богатства = Индекс зеленых пространств + Индекс водных пространств + Индекс чистоты воздуха + Индекс шума + Индекс чистоты воды. По сути дела, речь идет о комплексном количественном измерении (оценке) экологического состояния. При соответствующих доработке и совершенствовании на основе такого индекса можно существенно улучшить аналитическую работу, более предметно и целенаправленно формировать экологическую политику для мест расселения.

Глава 22

ОПТИМИЗАЦИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ УСТОЙЧИВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ

22.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Экологическая безопасность требует учета всех факторов, определяющих уровень жизни, а значит, и долголетие человека. В ее обеспечении существенную роль играет комплекс средств, которые выбирает общество для управления качеством окружающей среды как на национальном, так и на международном уровне. При этом следует иметь в виду, что система экологической безопасности прежде всего предусматривает охрану здоровья человека, сохранение, развитие и обеспечение его духовного мира, а также охрану окружающей человека природной среды. Основным условием решения этой проблемы является придание устойчивого развития всем объектам биосферы, в том числе и человеческому сообществу. При неустойчи-

вом развитии в конечном итоге формируются неблагоприятные деградиционные процессы. Поэтому несомненно, что разработка методов управления устойчивым развитием природных комплексов является неотъемлемым условием создания надежных систем жизнеобеспечения.

Согласно сложившимся определениям экосистема — это совокупность живых организмов в неорганической среде их обитания, занимающих определенное пространство и способных к саморегуляции. Абиотические компоненты экосистемы представлены собственно почвой (многофазная гетерогенная система), растительным опадом, остатками микроорганизмов и мезофауны. Биотическая часть экосистемы состоит из первичных продуцентов — автотрофов и консументов — гетеротрофов и сап-

ротрофов, которые разлагают растительные и животные остатки до уровня исходных неорганических веществ, выполняя одновременно роль вторичных продуцентов. Все экосистемы, как известно, характеризуются наличием потоков энергии; трофических цепей; структур пространственно-временного разнообразия; биогеохимических круговоротов воды и элементов; развития и эволюции; управления (Одум, 1975). К приоритетным антропогенным факторам, оказывающим воздействие на экосистемы, относят земледелие, животноводство, мелиорацию, освоение земель, вырубку лесов. Вместе с тем состояние экосистем косвенным образом зависит и от других форм антропогенной активности: горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, производства энергии, транспорта, строительства и др.

Антропогенный фактор реализуется в экосистеме в виде непосредственного воздействия на ее элементы, пищевые цепи, структуры, круговороты веществ

и потоки энергии в ходе производственной деятельности, а также посредством изменений, происходящих в природе, в частности в атмосфере (повышение температуры, разрушение озонового экрана вследствие возрастания концентраций диоксида углерода, метана, оксидов азота и серы, хлорфтористого углерода, выпадение кислотных осадков). В результате воздействия антропогенных источников возмущения экосистем изменяются свойства и режимы почвы, качество воздуха, запасы и качество воды, количество и качество растениеводческой и животноводческой продукции, численность животных и растительных видов, их разнообразие, ареалы распространения, генотип биоты и ее физиолого-метаболическая активность. При этом сама экосистема приобретает ряд специфических характеристик, свойственных конкретным типам хозяйственной деятельности. Так, при аграрном типе антропогенного фактора экосистема трансформируется в агроэкосистему (рис. 22.1), которая пред-

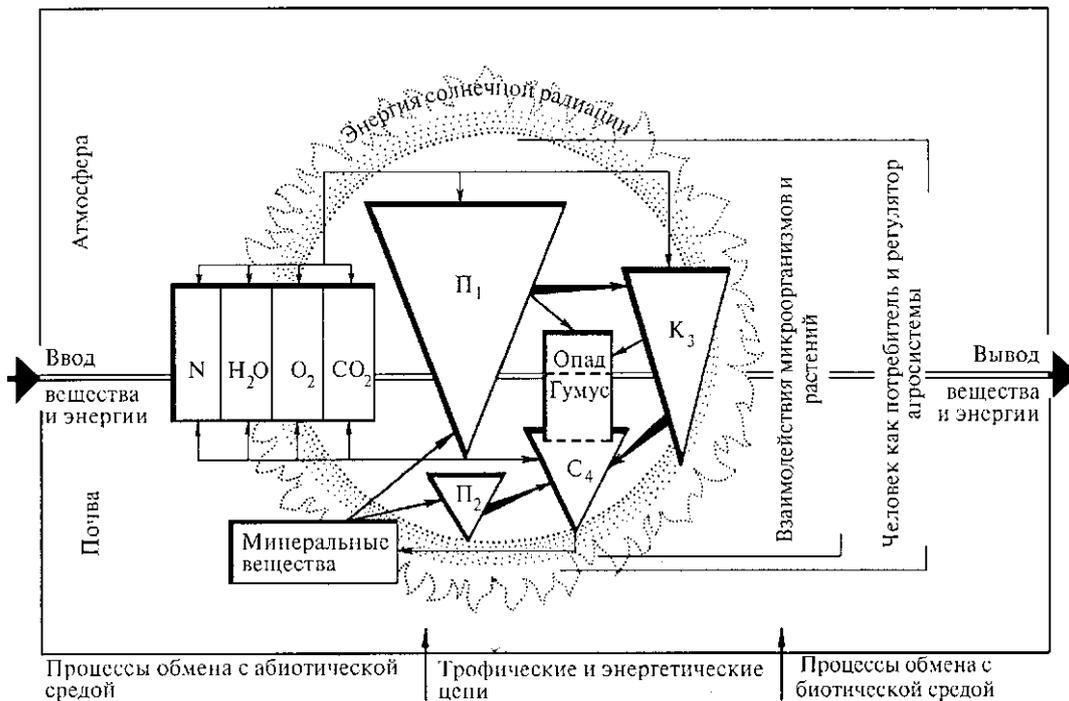


Рис. 22.1. Схема согласования циклов веществ и энергии в биосфере и их взаимодействие: П₁ — растения-продуценты; П₂ — микроорганизмы-продуценты; К₃ — консументы; С₄ — сапротифы

ставляет собой часть наземной экосистемы, находящуюся под влиянием сельскохозяйственной деятельности человека; структура и способ ее функционирования регулируются с помощью импорта вещества и энергии с целью поддержания состояния наивысшей продуктивности и предотвращения сукцессии. Функционирование агроэкосистемы предполагает наличие разной по интенсивности и продолжительности постоянной антропогенной нагрузки на составляющие ее компоненты. Поэтому, чтобы предотвратить возможность необратимых изменений в агроэкосистеме, важно предвидеть результат этих воздействий, основываясь на величинах предельно допустимых нагрузок, а также учитывая механизмы адаптации и уровни устойчивости компонентов агроэкосистемы к природным и антропогенным нагрузкам.

Производственная, в том числе и сельскохозяйственная, деятельность человека осуществляется в границах целостных природных образований — ландшафтов. Это — территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных или природных и антропогенных компонентов, а также комплексов более низкого таксономического ранга; наиболее общий целостный объект охраны природы. С этой точки зрения он рассматривается как ресурсо-содержащая и ресурсовоспроизводящая система; среда жизни и деятельности человека; хранилище генофонда; природная лаборатория и источник эстетического восприятия. Это — территория, однородная по происхождению и истории развития, обладающая единым геологическим основанием, однотипным рельефом, единообразным сочетанием почв, растительности и отличающаяся от других территорий структурой, а также характером взаимосвязи и взаимодействия между отдельными компонентами этой территории. По различным параметрам выделяют природные и антропогенные, культурные и акультурные, степные и горные, лесные и болотные, а также другие ландшафты, в том числе и агроландшафты.

Агроландшафты — антропогенные ландшафты с преобладанием в их биотической части сообществ живых орга-

низмов, искусственно сформированных человеком (антропобиоценозов) и заменивших естественные фито- и зооценозы на большей части территории. В более узкой трактовке под агроландшафтом понимают ландшафт, на большей части которого естественная растительность заменена посевами и посадками сельскохозяйственных растений. Под агроландшафтами понимают также пейзажи сельской местности.

Одна из важнейших функциональных задач современной экологии — разработка основ и принципов природосообразности в различных областях производственной деятельности. При этом наряду с аргументированным объяснением различных реальных и возможных ситуаций необходимы дельные рекомендации по организации рационального природопользования и предотвращению отрицательных последствий, обусловленных непродуманным вмешательством в окружающую среду и ее непредвиденными изменениями. По мнению видного отечественного эколога академика С. С. Шварца (1976), весьма актуальной проблемой нынешнего этапа взаимодействия общества и природы является конструирование окружающей среды по образцу и подобию природной, достижение гармоничного развития природы и экономики единых географических систем.

В сфере аграрного производства на протяжении веков осуществляется процесс конструирования искусственного биогеоценологического покрова, реализуемый путем разработки и внедрения различных систем земледелия. И здесь в первую очередь необходимо разумно учитывать и максимально использовать естественный базис производства, определяемый ландшафтными особенностями конкретной территории. В ряду многоплановых аспектов столь актуальной проблемы, как экологизация сельского хозяйства, грамотные учет и оценка ландшафтной доминанты являются основополагающими и поэтому требуют первоочередного внимания.

О возрастающем интересе к этим вопросам, обусловленном их научной значимостью и объективными потребностями практики, свидетельствуют появившиеся в последние годы публика-

ции. Это, в частности, сборник научных трудов «Агроэкологические принципы земледелия» (1993), обстоятельная монография А. Н. Каштанова с соавторами «Основы ландшафтно-экологического земледелия» (1994), солидный учебник В. И. Кирюшина «Экологические основы земледелия» (1996), оригинальное учебное пособие М. Г. Сергеева «Экология антропогенных ландшафтов» (1997) и другие издания.

22.2. УСТОЙЧИВОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ

Оптимизация природной среды — это поиск сбалансированного соотношения между эксплуатацией экосистем (рациональным использованием естественных ресурсов), их охраной и целенаправленным преобразованием. Между тем деятельность человека приводит к значительным и устойчивым изменениям природной среды. В агроэкосистемах, как известно, к таковым относят процессы эрозии и дефляции; загрязнение почв и природных вод химическими веществами, вымываемыми из минеральных удобрений и ядохимикатов; эвтрофирование водоемов; уплотнение, подкисление и понижение биологической активности почв; изменение видового состава, численности и распределения флоры и фауны и т. д.

В связи с этим очевидна необходимость в системе средостабилизирующих мероприятий. Теоретическим обоснованием разработки системы обеспечения устойчивости агроэкосистем призвана служить формирующаяся экология агроландшафта, которая изучает структуры и особенности функционирования агроэкосистем в конкретных условиях и при антропогенных воздействиях, а также балансы веществ и энергии. При этом необходимо системно учитывать характер взаимосвязей и взаимозависимостей между структурными элементами агроландшафта, иерархические уровни соответствующих структур.

Как отмечал А. Г. Исаченко (1980), охрана и рациональное использование отдельных компонентов природной среды не имеет реального смысла вне

оптимизации более сложных целостных территориальных единиц, какой и является ландшафт.

Рассматривая предпосылки формирования устойчивых агроэкосистем, необходимо основываться на ландшафтно-экологическом подходе, который предполагает изучение природных явлений и процессов, а также инвентаризацию их ресурсного потенциала; оценку природных систем применительно к возможным видам использования; прогнозирование вероятных изменений природных комплексов в результате их использования; разработку подходов к управлению процессами изменения природных комплексов из-за антропогенного воздействия, определение путей и способов их регулирования; обоснование и разработку рекомендаций по оптимизации агроландшафтов.

Природные системы характеризуются рядом свойств, определяющих их (систем) отношение к внешним воздействиям, таких, как целостность, устойчивость, эластичность, инерция, емкость, допустимые пределы изменений. Кратко охарактеризуем эти свойства.

Целостность — внутреннее единство экосистем, обусловленное тесными взаимосвязями между составляющими их компонентами.

Устойчивость — способность к самосохранению и саморегулированию в пределах, не превышающих определенных критических величин (допустимых пределов изменений). Речь идет о способности экосистем сохранять свою структуру и основные функции при внешних воздействиях (в том числе антропогенных). Особую роль здесь играет биота, которая, трансформируя абиотическую среду, смягчает внешние воздействия.

Различают резистентную и упругую устойчивость. В первом случае имеется в виду свойство системы сопротивляться нарушениям, поддерживать свою структуру и функции, во втором — способность восстанавливать свое состояние (т. е. важнейшие на определенном временном интервале характеристики) после того, как структура и функции системы были нарушены.

Изменчивость — способность экосистем переходить из одного состояния в

другое под влиянием внешних сил или факторов саморазвития. По глубине трансформации систем различают изменения в ходе функционирования, динамики и развития. Функционирование — это совокупность процессов передачи и превращения вещества и энергии, поддерживающая систему в определенном состоянии. Здесь происходят небольшие количественные изменения, которые носят ритмичный суточный и сезонный характер. Динамика представляет собой обратимые изменения, которые происходят в рамках структуры системы. К ним, например, относят многолетние периодические колебания, так называемые «восстановительные смены». В процессе динамики происходят более глубокие изменения, чем в процессе функционирования. Но они не ведут к качественной перестройке структуры, а лишь медленно подготавливают ее. Развитие (эволюция) — это необратимые изменения систем с коренной перестройкой структуры и формированием новых ландшафтов, что связано как с внешними воздействиями (природными и антропогенными), так и с внутренними ценотическими (саморазвитие). Такие экосистемы теряют устойчивость.

Эластичность — способность в некоторых пределах менять свое состояние под влиянием внешних факторов и возвращаться в исходное состояние при прекращении их действия.

Инерция — способность природных систем в некоторых пределах противостоять действию внешних факторов без изменения своего состояния.

Емкость — способность абсорбировать без изменения своего состояния чужеродные воздействия внешних факторов (посторонние вещества, избыточную энергию и т. п.).

Допустимые пределы изменений — максимальный и минимальный пределы параметров состояния природной системы, внутри которых она обладает устойчивостью и не разрушается.

В связи с рассматриваемыми свойствами природных систем представляет интерес предложенная Ю. А. Израэлем (1984) графическая схема состояния некоторой системы во времени при различных нагрузках (рис. 22.2). Как

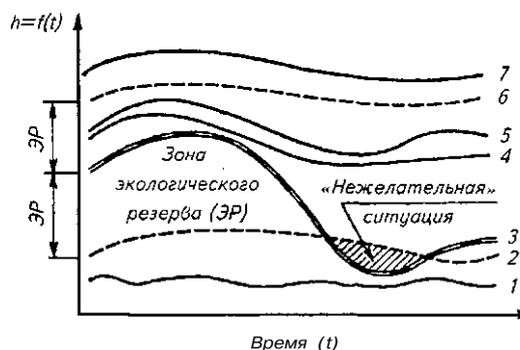


Рис. 22.2. График функции состояния элементов некоторой системы во времени $h(t)$ при различных нагрузках (Израэль, 1979):

1 и 7 — нижний и верхний критические пределы изменений; 2 и 6 — нижний и верхний пределы допустимых изменений (пределы воздействия на систему); 3 — функция фактического состояния системы при антропогенном воздействии; 4 — нормальное состояние системы; 5 — возбужденное состояние системы. Интервалы между фактическим состоянием (кривая 3) и верхним (6) или нижним (2) допустимыми пределами воздействия характеризуют «экологический резерв» воздействия

следует из данных, представленных на рисунке, чтобы избежать необратимых изменений природной системы, не следует выводить ее за некие пределы, т. е. желательно не выходить из зоны экологического резерва.

Изучение и учет экосистем имеют важное практическое значение, поскольку позволяют более грамотно формировать взаимодействие с окружающей природной средой. Это особенно важно при организации агроэкосистем, отличающихся от экосистем неустойчивым природным равновесием. В естественных условиях смена структуры экосистем (например, зарастание озер, заболачивание лесов и др.) происходит постепенно. При неуправляемом же вмешательстве сельскохозяйственного производства изменения могут проходить быстро и приводить к снижению устойчивости агроландшафтов и их деградации.

Хозяйственная деятельность влияет и на перестройку биоценозов в целом. Причем в отдельных регионах нарушение равновесия между материнской породой, стоком и почвой вызывает необратимые отрицательные изменения в ландшафтах. Примером может служить усиление процессов опустынивания.

Очевиден факт, что наряду с действительно целесообразными в природно-хозяйственном отношении антропогенными ландшафтами вследствие существенных экологических просчетов при организации природопользования возникают ландшафтные (в том числе и агроландшафтные) образования противоположного свойства.

При интенсивном сельскохозяйственном использовании земельного фонда, когда равновесие в агроэкосистемах поддерживается искусственно, необходимо знать и учитывать структуру агроландшафтов, их системообразующие свойства. Основным «целевым свойством» ландшафта является экологический потенциал — интегральная предпосылка его использования. Он характеризует способность ландшафта соответствовать требованиям, предъявляемым ему человеком. Во всех случаях организация агроэкосистем должна быть дифференцирована по типам и видам ландшафтов, основываться на зонально-провинциальных особенностях, типологических и индивидуальных свойствах.

Особенно важно, чтобы регуляция намечаемых хозяйственных нагрузок на агроэкосистемы осуществлялась в соответствии с их природной структурой. В противном случае, особенно в агроэкосистемах с неустойчивым природным равновесием, несоответствие сложившейся специализации сельского хозяйства потенциальным возможностям ландшафтного ресурса приводит к возникновению и развитию негативных процессов — потере агроэкосистемами устойчивости, нарушению ландшафтно-экологического равновесия на данной территории и т. д. Поэтому необходимо сопоставлять существенные функциональные структуры ландшафта и его потенциал, определять целесообразные направления рационального его использования.

Для этого необходимо оценить направление и скорость естественного развития каждого элемента ландшафта; изменение как отдельных компонентов, так и всей агроэкосистемы под влиянием производственной деятельности; вероятное развитие форм использования природного потенциала. Ландшафтное

прогнозирование предполагает функциональное разграничение ландшафтных образований (процесс пространственного дифференцирования деятельности человека, придающей структурным участкам определенные функции). Например, в агроландшафте главной должна быть функция охраны и воспроизводства потенциала почвенного плодородия, в зависимости от которой решаются вопросы размещения сельскохозяйственного производства, формирования инфраструктуры и др.

Важным условием повышения устойчивости экосистем (и особенно агроэкосистем) служат разработка, совершенствование и строгое соблюдение экологических нормативов, стандартов, правил и других регламентов, регулирующих хозяйственную деятельность по использованию ландшафтов.

Наиболее распространенными показателями загрязнения природной среды являются предельно допустимые концентрации (ПДК) поллютантов, устанавливаемые по степени вредности веществ или рефлекторной реакции на них организма.

Однако ПДК, ПДВ (предельно допустимые выбросы) и другие аналогичные показатели далеко не всегда учитывают особенности трансформации загрязняющих веществ в природе, их способность накапливаться в биоте в конкретных физико-географических условиях. Установленные для отдельных природных компонентов, они не дифференцированы по регионам и малопригодны для ландшафтов в целом. В качестве более приемлемых экологических нормативов могут служить предельно допустимые экологические нагрузки (ПДЭН), которые более полно отражают внутренние свойства и потенциальные возможности экосистем. ПДЭН как совокупность внутреннего и внешнего воздействия, которая либо не меняет качество окружающей среды, либо меняет его в допустимых пределах, характеризует подверженность компонентов экосистемы воздействию факторов, изменяющих ее устойчивость, а также силу и активность этих факторов. Под качеством окружающей среды подразумеваются возможность устойчивого существования природной или антропоген-

ной экосистемы в данном месте при отсутствии неблагоприятных последствий для любой (но в первую очередь человеческой) популяции. Из-за разнообразия антропогенных факторов, действующих на компоненты реальной агроэкосистемы, практически невозможно предложить единый показатель допустимой нагрузки. Поэтому для каждого типа воздействия устанавливаются свои требования к регламентам, которые могут преследовать природоохранные, социально-экономические, гигиенические, медицинские или другие цели. Например, уровень техногенного загрязнения ландшафтов считают допустимым, если не нарушаются газовые, концентрационные и окислительно-восстановительные параметры, от которых зависит жизнедеятельность организмов, регулирующих биогеохимическое самоочищение, не изменяется биохимический состав продукции, что могло бы вызвать нарушение жизненных функций организмов в пределах трофических цепей, не снижается биологическая продуктивность экосистем, сохраняется генофонд, необходимый для существования системы (Глазовская, 1988). ПДЭН как комплексный показатель устойчивости экосистем и ландшафтов характеризует структуру и функционирование систем через продуктивность, видовое разнообразие, интенсивность процессов и другие параметры, а также максимально допустимые пределы вмешательства в экосистемы при условии сохранения ими основных природных и экономических функций (антропогенные изменения экосистем и ландшафтов не должны выходить за некие пределы естественных колебаний их параметров).

Одна из распространенных в настоящее время точек зрения заключается в том, что конечной целью экологического нормирования является стремление сохранить естественное течение сукцессионных процессов на основании определения норм состояния объекта посредством анализа параметров агроэкосистемы и интервалов их естественных колебаний, а также установления соответствующих пороговых и критических пределов. Этот этап называют экологической регламентацией. Следующий этап - это собственно экологическое

нормирование, т. е. определение экологических нормативов на основании экологических регламентов.

Использование системы наиболее общих и симптоматичных интегральных параметров агроэкосистем позволяет оценивать отклонения от некоторого состояния, условно принимаемого за норму, а следовательно, и наблюдающуюся степень нарушения. При таком подходе анализу подлежит триада: фактор воздействия — свойства агроэкосистемы (устойчивость) — степень воздействия (измененность).

При выборе параметров состояния агроэкосистем для целей экологического нормирования важно учитывать такие особенности, как достаточно высокая степень интегрированностиTM и универсальности параметра; адекватность его реакции на разные формы и интенсивность воздействия того или иного фактора на данную систему; высокая степень информативности. Кроме того, выбираемые методы определения параметра не должны вносить существенных изменений в агроэкосистему.

22.3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ

В процессе длительной эволюции естественные экосистемы приобрели способность к саморегуляции и самовосстановлению. При трансформации же естественных экосистем в агроэкосистемы вещественно-энергетические и информационные связи, в том числе и в агроландшафте, значительно изменяются. Если такие изменения выходят за рамки допустимых пределов (норм), то ландшафты теряют способность к самовоспроизводству основных компонентов и в итоге быстро деградируют. Современный агроландшафт — это не просто преобразованный (модифицированный) природно-территориальный комплекс, а многокомпонентное образование со специфическими природно-хозяйственным генезисом, фитоценотическим обликом, экологической ситуацией.

Хотя будущее агроландшафтов в основном определяется хозяйственной деятельностью, оно во многом зависит от

территориальной и организационной согласованности природных и антропогенных структур. Еще В. В. Докучаев указывал на необходимость территориальной дифференциации и адаптации землепользования как по ландшафтными зонам, так и по «типам местности природы».

Адаптивно-ландшафтное землепользование направлено на достижение более гармоничного взаимодействия человека и природы в процессе сельскохозяйственного производства. При этом следует иметь в виду, что если ландшафтоведение — уже сложившаяся область знаний, то ее важная ветвь — агроландшафтоведение еще находится в процессе становления. По замыслу агроландшафтоведение призвано изучать закономерности формирования и функционирования агроэкосистем, разрабатывать методы моделирования новых систем земледелия, обосновывать пути конструирования оптимальных агроландшафтов (природно-хозяйственных территориальных систем сельскохозяйственного назначения на локальном, топологическом уровне), решать актуальные проблемы социальной агроэкологии, формировать основы и вести разработку геоинформационных систем агрономического назначения.

С учетом приведенных выше суждений и материалов отечественных и зарубежных исследований принципы построения агроландшафтов, имеющие практическое значение и основанные на «самовосстановлении» и «самоочищении» агроэкосистем и их компонентов, можно свести к следующим:

1. *Принцип адекватности.* Производственная деятельность в агроландшафтах должна функционально соответствовать функциям биосферы, т. е. быть адекватной природным закономерностям окружающей среды. Этого можно достичь применением прогрессивных систем земледелия (выделение севооборотов с многолетними травами на склонах, замена вспашки бесплужной обработкой и другие агротехнические приемы) с учетом экологических особенностей структуры сложившихся естественных ландшафтов. В результате образуются новые природно-хозяйственные комплексы, обеспечивающие более эф-

фективное использование биоэнергетических ресурсов, с устойчивыми агроэкосистемами, имитирующими функции биосферы.

2. *Принцип совместимости.* Компоненты (элементы) территории агроландшафтов проектируют и создают с учетом природно-антропогенной совместимости. Суть в том, чтобы элементы территории агроландшафтов были органически взаимосвязаны и представляли единую систему, согласованную со строением природных комплексов и хозяйственной деятельностью. В последующем новые и усовершенствованные агроландшафты развиваются под активным влиянием процессов, свойственных тем природным ландшафтам, которые и послужили для них фоном. Не совместимый с природной средой элемент территории играет роль некоего внешнего «раздражителя», нарушающего общую устойчивость природного комплекса (ПК). Недоучет этого ведет к излишним материальным затратам при создании агроландшафтов, а нередко и к их быстрому разрушению.

Примером недостаточного учета фактора природно-антропогенной совместимости при формировании ландшафтов может служить проектирование крупных прямоугольных клеток-полей на склонах сложной формы. Между тем целесообразно было проектировать поля в виде горизонтально-контурных и полосных микрозон. В результате такого рода просчетов наблюдается увеличение поверхностного стока, усиление водной эрозии почвы, заиливание рек. Здесь явно сказывается отрицательное влияние ошибочных способов организации территории: закладка защитных лесополос и обработка почвы вдоль склонов с пересечением горизонталей.

Это относится и к сооружению земляных валов у вершин оврагов, являющихся навязанным природе элементом. В этом случае нарушается почвенный покров прилегающего участка, площадь под валом зарастает сорняками и выпадает из сельскохозяйственного пользования, ухудшается архитектура ландшафта.

Положительным примером реализации данного принципа может служить

залужение водосточных ложбин, контурная организация территории на сложных склонах, мульчирование и тд. Другой пример: совместный (полосный) посев низкорослой сои и высокорослой кукурузы позволяет растениям каждой группы лучше использовать солнечную энергию, углекислый газ, воду. В результате повышается интенсивность фотосинтеза, улучшается микроклимат. Урожайность сои в таких посевах на 18 %, а кукурузы на 29 % выше, чем при раздельном их выращивании.

3. *Принцип соответствия фитоценозов местообитанию.* При структурировании агроландшафта важно грамотно выбрать место размещения посевов и посадок различных групп сельскохозяйственных растений на неоднородных по экологическим свойствам и расположению участках возделываемых земель. Требуется также учитывать биологические особенности имеющегося набора культур, чтобы обеспечить повышение их урожайности при одновременном сохранении плодородия почв. Практическую реализацию этого принципа следует рассматривать как необходимое условие формирования устойчивых агроэкосистем. Вышесказанное наглядно подтверждают данные, представленные в таблицах 22.1, 22.2 и 22.3.

22.1. Урожайность основных сельскохозяйственных культур в зависимости от условий рельефа, т/га (Варламов и Волков, 1991)

Коэффициент расчлененности, км/км	Озимая пшеница	Ячмень	Сахарная свекла	Кукуруза (зеленая масса)
0,3...0,4	2,44	2,27	28,7	31,2
0,7...0,8	2,15	2,04	26,1	29,6
1,1...1,2	1,97	1,88	25,6	27,9
1,5...1,6	1,74	1,65	22,4	25,7

4. *Принцип приоритета фитомелиорации.* При формировании почвоохраняющих, самовосстанавливающихся и самоочищающихся агроландшафтов и агроэкосистем ведущая роль должна принадлежать фитомелиорации, что соответствует одному из важнейших законов земледелия — закону минимума (поскольку ограничивающим фактором часто является дефицит почвенной влаги, а растительная мелиорация способствует формированию более устойчивого влагооборота в агроэкосистемах).

С учетом сказанного практическая задача организации территории агроландшафта заключается в определении разумного соотношения между полем, лугом и лесом в увязке с другими компонентами.

5. *Принцип пространственного и видового разнообразия.* Агроэкосистемы следует создавать с учетом требования пространственного и видового разнообразия среды. Это соответствует существующей закономерности, согласно которой чем разнообразнее и сложнее структура агроландшафта, тем выше его устойчивость, способность противостоять различным внешним воздействиям. Например, сохранение естественных компонентов улучшает микроклимат, способствует увеличению численности животных, в частности птиц, питающихся насекомыми. Ландшафты, характеризующиеся большим видовым разнообразием, лучше самовосстанавливаются и самоочищаются, поскольку сложная мозаичность их строения способствует поддержанию их устойчивости, а также природного и природно-антропогенного равновесия. (Под природным равновесием понимают первичное экологическое равновесие природной системы, сложившееся на основе баланса неизменных или малоизмененных человеком компонентов среды и природных процессов. Природно-антропогенное равновесие — вторичное экологическое равновесие, образующееся на основе баланса измененных человеком компонентов среды и природных процессов.)

6. *Принципы оптимизации структуры и соотношения земельных угодий.* При землеустройстве агроландшафтов для определенного сельскохозяйственного региона землепользования в соответствии с местными природными условиями устанавливают экологически и экономически обоснованные структуру и соотношение размеров площадей пашни, лугов, леса и вод. Проблема рационального соотношения естественных и искусственных экосистем, несомненно, является одной из ключевых. По этому поводу сложились различные суждения. Представляет, в частности, интерес предложенная Н. Ф. Реймерсом (1990) схема соотношений площадей есте-

**22.2. Сравнительная пригодность почв для возделывания сельскохозяйственных культур
(Варламов и Волков, 1991, с изменениями)**

Культура	Почвы по гранулометрическому составу							
	песчаные	легкосуглинистые	супесчаные	легкосуглинистые	суглинистые	тяжелосуглинистые	глинистые	тяжелоглинистые
Пшеница	0	0	2	3	3	3	2	1
Рожь	2	3	3	3	3	3	3	2
Овес	1	2	3	3	3	3	3	2
Ячмень	1	1	3	3	3	3	2	1
Просо	1	3	3	3	3	3	2	1
Кукуруза	0	3	3	3	3	3	2	1
Гречиха	1	3	3	3	3	2	2	1
Картофель	0	3	3	3	3	3	2	1
Лен	0	0	1	2	3	3	2	1
Свекла	0	1	2	3	3	3	2	1
Капуста	0	1	2	3	3	3	2	1
Морковь	1	2	3	3	2	3	2	1

Условные обозначения. Степень пригодности почв для возделывания культур: 0 — размещение противопоказано; 1 — в благоприятные годы можно получить неплохой урожай; 2 — плохие; 3 — наилучшие.

22.3. Сравнительная пригодность антропогенно- обусловленных участков для возделывания сельскохозяйственных культур с учетом природоохранных ограничений (Варламов и Волков, 1991)

Зоны антропогенного воздействия	Степень пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур							
	зерновые	картофель	лен	сахарная свекла	силосные	травы, в том числе		
						на сено, сенаж	на зеленый корм	для выпаса
Почвоохранные								
Осушенные торфяники								
до 1 м	2	0	0	0	0	3	3	2
1-2 м	3	1	0	1	0	3	3	1
более 2 м	3	2	0	2	0	3	3	1
Почвы с маломощным гумусовым горизонтом	2	1	1	1	1	3	3	2
Почвы легкого гранулометрического состава, подверженные дефляции	2	1	0	1	1	2	2	0
Почвы, подверженные водной эрозии:								
в слабой степени	3	2	3	2	2	3	3	2
в средней степени	2	1	2	1	1	2	2	1
в сильной степени	1	0	1	0	0	2	2	0
Водоохранные								
2-й пояс зоны санитарной охраны подземного водозабора	1	0	0	0	0	2	2	2
2-й пояс зоны санитарной охраны открытого водозабора	1	0	0	0	0	2	2	0
Водоохранные зоны малых рек	2	2	2	2	2	3	3	2
Прибрежные полосы малых рек	0	0	0	0	0	2	2	0
Территории загрязняемые								
стоками животноводческих комплексов и ферм	1	1	2	1	1	2	0	0
выбросами промышленных объектов	2	1	3	1	1	2	1	0
выхлопными газами (вдоль автодорог с интенсивным движением)	1	0	3	0	1	1	0	0

Условные обозначения: 0 — непригодные; 1 — малопригодные; 2 — пригодные; 3 — наиболее пригодные.

ственных и преобразованных экосистем (рис. 22.3). Согласно приведенным на этом рисунке данным целесообразное экологическое равновесие наблюдается,

когда процентное соотношение между площадями естественных и преобразованных экосистем составляет 60:40. Существует и такое мнение, что в агро-

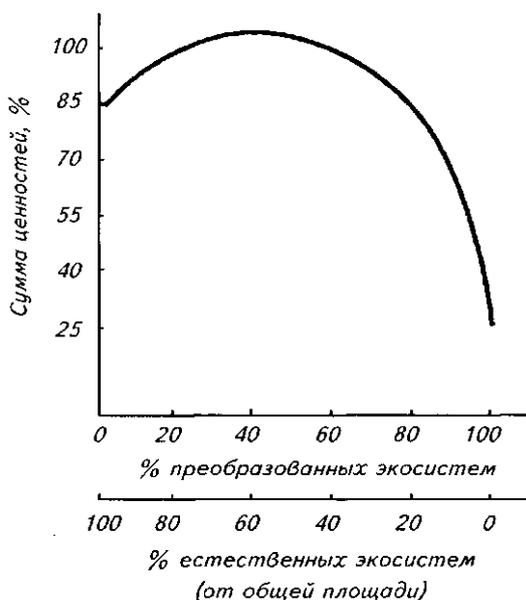


Рис. 22.3. Суммарный экологический эффект при различных соотношениях площадей преобразованных и естественных экосистем (Реймерс, 1990)

ландшафтах леса, луга, водные пространства должны занимать не менее 30 % общей площади.

Представляют интерес данные об изменении урожайности зерновых культур в зависимости от облесенности пашни в Центрально-Черноземном районе:

Облесенность пашни, %	1	1,5	2,0	2,5	3,0
Средняя урожайность зерновых, %	100	106	111	115	118

В целом же данная проблема требует серьезных дальнейших проработок. Необходимы дифференциация соответствующих соотношений по географическим районам, изучение динамики вещественно-энергетических потоков при тех или иных структурах и соотношениях площадей естественных и преобразованных экосистем и т. д. Заслуживает также внимания разработка норм оптимального сочетания биотических составляющих ландшафта и технологических условий территории. Так, поля, как важнейший элемент агроландшафта, должны быть оптимальны по размеру, что способствует производи-

тельному использованию сельскохозяйственных машин, с одной стороны, и уменьшению уплотняющего воздействия техники на почву — с другой. Критерием правильного решения задачи является устойчивость сформированного ландшафта. В этом отношении представляет интерес предложенное А. А. Варламовым и С. Н. Волковым (1991) понятие «экологически устойчивый участок» (ЭУУ), под которым понимается территория, выделенная с учетом однородности характеристик ее природных ресурсов, а также комплексности их действия и сохраняющая свои ландшафтные особенности в процессе хозяйственного использования. Если в процессе хозяйственного использования обеспечивается возможность прекращения или ослабления негативного воздействия физико-географических и социально-экономических условий на почвенные, водные и растительные ресурсы (эрозия, засоление и уплотнение почв, осушение местности, зарастание сельскохозяйственных угодий лесом и кустарником, ухудшение условий существования флоры и фауны и т. д.), то пространственное расположение участка сохраняется, но его потенциал и экономическая оценка увеличиваются. В конечном счете сохраняются организация территории участка и устойчивость использования его отдельных ресурсов. При этом не ограничиваются возможности роста плодородия почв и дифференциального дохода с участков.

22.4. ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ — ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОДУКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ

Сельское хозяйство изначально основывалось на стихийном использовании отдельных экологических принципов. По мере формирования научных основ сельскохозяйственного производства и поступательного развития его отраслей и инфраструктуры эти принципы начали применяться более осмысленно и целенаправленно. Однако и в настоящее время преимущественно учитываются лишь аутоэкологические

закономерности, популяционные же и экосистемные подходы применяются гораздо реже.

Целевая установка сельского хозяйства объективно направлена на получение максимума биологической продукции. Сообразно этому развиваются (да и будут развиваться) аграрные производственные системы. Между тем сугубо технократический подход к необходимому процессу интенсификации производства в аграрном секторе вступил, как известно, в серьезное противоречие с возможностями поддержания природно-антропогенного равновесия. В конечном счете сработал принцип бумеранга в виде негативных последствий интенсификации для экологического состояния и продуктивности сельскохозяйственных угодий. Так, в районах сплошной распашки земель и неоднократного проведения химических обработок посевов ощущается столь существенный недостаток энтомофагов (насекомоядных организмов) и опылителей, что возникает угроза существованию природных биоценозов, формированию урожая культурных растений.

Новейшие достижения экологии позволяют совершенствовать существующие и разрабатывать новые методы ведения сельскохозяйственного производства, выявляя в растениеводстве и животноводстве дополнительные резервы для стабилизации агроландшафтов.

Важное условие экологизации сельского хозяйства — использование биоценологических экосистемных принципов. От практики поддержания на полях только продуцентов — культурных растений — следует переходить к более полному и активному использованию в агроценозах естественных регуляторных механизмов.

В первую очередь необходимы анализ и учет ландшафтно-экологических особенностей конкретной территории. Создаваемые агроландшафты функционируют в соответствии с природными закономерностями данного района. Основой для анализа ландшафтной неоднородности и изменчивости земельного фонда в процессе его сельскохозяйственного использования служат материалы количественного и качественного учета состояния агроэкосистем.

Однако пока что степень изученности почвенных условий в разных ландшафтах неодинакова. Кроме того, слаба обеспеченность аграрного сектора базовыми природными картами (геоморфологической, почвенной, геоботанической, ландшафтной).

Ландшафтно-экологический анализ агроландшафта должен основываться на знании его морфологических компонентов (типологическое картографирование) и региональных различий (районирование), а также на учете многочисленных взаимосвязей (баланс веществ и энергии). Особенно важно, чтобы хозяйственные нагрузки на ландшафт планировались в соответствии с его природной структурой. В противном случае несоответствие сложившейся специализации сельского хозяйства потенциальным ресурсным возможностям ландшафта приводит к возникновению и развитию негативных процессов, к нарушению природно-антропогенного равновесия, особенно в ландшафтах с неустойчивым природным равновесием.

Наряду с влиянием антропогенных факторов нужно учитывать и естественные тенденции развития ландшафтов, возможности проявления неблагоприятных для сельского хозяйства природных процессов. Последние воздействуют медленнее, но масштабнее (изменение климата, сейсмичность, процессы эрозии и др.). Рациональным можно считать такое воздействие, при котором обеспечивается правильный ресурсооборот, расширенное воспроизводство возобновляемых ресурсов ландшафта (повышение плодородия почвы, продуктивности естественных и культурных фитоценозов и др.). Анализ ландшафтной неоднородности и изменчивости — многоступенчатая система подходов к раздельной оценке природных компонентов и всего ландшафтного комплекса.

В агроэкосистемах происходят как изменение отдельных биотических компонентов, так и трансформация системы в целом. При этом нарушаются ее внутренняя структура и функционирование, обеспечивающие определенную устойчивость с помощью различных механизмов самоорганизации и самовос-

производства. Для определения происходящих и возможных изменений перспективна разработка интегральных параметров, характеризующих структурно-функциональную организацию агроэкосистем по их биотической компоненте.

Такого рода характеристики отражают процессы создания, использования, разрушения и остаточного накопления биотической продукции различных категорий (первичной, вторичной, остаточной, мертвой), а также некоторые этапы круговорота веществ, вовлеченных в биологические циклы.

1. Запас живой биомассы (фито-, зоо- и микробиомассы), $г/м^2$ или $т/га$ (в расчете на абсолютно сухое вещество). Под биомассой понимают общее количество живого органического вещества, накопленного к данному моменту. Кроме абсолютных показателей могут применяться соотношения биомассы различных групп организмов или их частей, отнесенной к единице площади. В том числе: для растений (автотрофов) — систематических экологических групп, наземных и подземных частей, ассимилирующих и запасающих органов; для гетеротрофов — систематических экологических (включая трофические) групп, долей мигрирующей зоомассы; для микроорганизмов — грибов, бактерий, актиномицетов.

2. Запас мертвого органического вещества. Это количество вещества, заключенного в сухостое, валежнике, отмерших органах, а также накопившегося в лесной подстилке, торфяном горизонте почв, в степном войлоке. Мертвое органическое вещество включает также трупы животных и гумус почв.

3. Интегральная характеристика структуры органического вещества агроэкосистемы определяется как соотношение запасов гумуса, фитомассы, зоомассы и биомассы (микроорганизмы), представляется в виде формулы органического вещества агроэкосистемы.

При оценке состояния агроэкосистем также должны учитываться показатели их функционирования, под которым понимают смену состояний системы, определяемую изменениями в годичном цикле запасов веществ и интенсивностей потоков. В основе фун-

кционирования экосистем лежит биологический круговорот, осуществляющийся по следующей типовой схеме: на восходящей ветви происходит создание первичной продукции при одновременном расходе ее на дыхание; на нисходящей — потребление фитофагами, отмирание и деструкция.

4. Текущее функционирование автотрофных и гетеротрофных компонентов. Его оценивают по первичной и вторичной продукции, а также по их соотношению. Чистая первичная продукция [$г/(м^2 \cdot год)$, $г/(м^2 \cdot сут)$, $т/(га \cdot год)$] — продукция автотрофных организмов, которая практически совпадает с продуктивностью фитоценоза. Она определяет энергетический потенциал системы и характеризуется количеством органического вещества (фитомассы), образуемого за год в наземной и подземной сферах сообщества за вычетом части, затраченной на дыхание. Фактически — это годичный прирост.

Вторичная продукция включает зоомассу и фитомассу, продуцируемую гетеротрофными организмами. Эта величина позволяет оценить «вклад» разных групп консументов и редуцентов в отчуждение фитомассы из годичного прироста, в деструкцию и минерализацию растительных остатков. Отношение первичной продукции к вторичной отражает сбалансированность биологической продукции.

5. Опад [$г/(м^2 \cdot год)$, $т/(га \cdot год)$] — количество органического вещества, заключенного во всех ежегодно отмирающих наземных и подземных частях растений.

6. Истинный прирост [$т/(га \cdot год)$] — количество органического вещества, остающегося в сообществе в результате годичного прироста, за вычетом опада.

7. Скорость воспроизводства органического вещества — отношение первичной продукции к запасу живой фитомассы (в %). Наибольшая она — в луговой степи, наименьшая — в лесу. Чем меньше этот показатель, тем больше задержка веществ и дальнейшая их консервация, чем он больше, тем выше динамизм процессов.

8. Скорость общего оборота органического вещества — отношение запаса живого и мертвого органического веще-

ства (включая и не включая гумус) к продукции (в %). Этот критерий позволяет выявить подвижность каждой единицы органического вещества при прохождении этапов трансформации продукции. Например, она минимальная в полярном и бореальном поясах и почти на порядок выше в луговой степи и пустыне.

9. Скорость деструктивных процессов. Этим процессам принадлежит важная роль в биологическом круговороте наземных систем, поскольку преобладающая часть биологической продукции трансформируется в форме детрита под действием различных деструктивных агентов, минуя трофические цепи растительноядных организмов. Количество фитомассы, потребляемое животными, составляет всего лишь несколько процентов от ее общей продукции, а 88...99 % первичной продукции поступают в почвенную детритную подсистему. В качестве показателя скорости деструктивных процессов используют отношение ежегодно поступающей мертвой массы к ее запасу (опадо-подстилочный коэффициент, %).

10. В дополнение к основным показателям рекомендуются параметры, связанные с изменением биогеохимического цикла, особенно в условиях техногенеза. Это, в частности, показатели содержания химических элементов в органическом веществе:

- а) годовое накопление химических элементов, кг/(га • год);
- б) годичный возврат химических элементов с опадом, кг/(га • год);
- в) годовое удержание элементов в фитоценозе [определяется как разница между накоплением химических элементов и их возвратом, кг/(га • год)].

(Показатели эти рассчитывают умножением массы отдельных структурных компонентов на содержание того или иного химического элемента в единице учета.)

Определение основных показателей систем и их функционирования позволяет исследовать происходящие в них внутренние процессы формирования первичной продукции и ее последующего потребления и разложения. Взаимодействие с абиотическими компонентами обуславливает круговорот пи-

тательных элементов и потоки энергии. Использование экосистемного подхода предполагает, что анализируемый сельскохозяйственный объект состоит из взаимодействующих компонентов, которые образуют систему с характерными для данного уровня организации свойствами.

Агроэкосистема имеет определенный состав, структуру и режим, которые поддерживаются и регулируются человеком. При отсутствии контроля с его стороны агроэкосистемы постепенно теряют свои свойства. Естественно, что без знания структуры и функционирования агроэкосистем на балансово-вещественно-энергетическом уровне нельзя предпринимать какие-либо меры по управлению ими: они могут оказаться несостоятельными и даже вредными. Функции экосистем целесообразно анализировать в следующих направлениях: потоки энергии; пищевые цепи и сети; структура пространственного разнообразия; круговороты питательных элементов (биогеохимических); развитие и эволюция.

Агроэкосистемы — это природные системы, измененные под воздействием соответствующих технологических и социальных факторов. Создание агроэкосистем преследует в первую очередь экономическую цель — устойчивое производство сельскохозяйственной продукции. При этом достаточно очевидна необходимость гармоничного сочетания экономических интересов с экологическими требованиями. По существу, управление сельским хозяйством адекватно управлению агроэкосистемами.

Основным организующим началом в любой агроэкосистеме является взаимодействие между производством и потреблением. Поскольку агроэкосистемам свойственны те же внутренние регулирующие механизмы, что и природным экосистемам, поддержание самоорганизующихся процессов в агроэкосистемах способствует снижению вещественно-энергетических затрат на внешние (антропогенные) регулирования. Взаимодействия на трофическом уровне могут быть упорядочены посредством влияния на цепи питания. При этом основное внимание следует уделять физиологическим аспектам, про-

цессам роста и развития, переносу энергии, круговороту питательных веществ, а также регулированию рождаемости и смертности популяций.

Регулирование продукционного процесса, направленное на повышение продуктивности и устойчивости агроэкосистем, — задача первостепенной важности. Интенсификация сельскохозяйственного производства на экологических началах — процесс многоплановый. Это обстоятельство предопределяет возможность применения нескольких принципиально различных и взаимодополняющих подходов.

Один из них — перестройка структуры фитоценозов. Например, вместо традиционных одновидовых посевов можно внедрять поликультурные посевы, основываясь на принципе дифференциации растений по экологическим нишам. Такие поля более выгодны энергетически. На них можно получать разнообразные и неоднократные урожаи в течение вегетационного периода. Наряду с продуктивностью при этом обеспечивается высокая устойчивость посевов.

Перспективно также применение севооборотов с формированием горизонтальной ротации культур. В этом случае создается пространственно-разнородный агрофитоценоз, который может поддерживать постоянный резерв разнообразных энтомофагов. Эффективно и рационально также использование многолетних плодосмен, организованных по типу протекания сукцессии, — от однолетних до древесных культур. Это позволяет меньше вмешиваться в жизнь почвы, беречь ресурсы, максимально использовать естественные восстановительные процессы, что особенно актуально при вовлечении в хозяйственный оборот нарушенных площадей. Следует учитывать, что устойчивость к сорнякам выше не у максимально выравненных по генетическим качествам, а у гетерогенных сортов хозяйственных видов. По этой причине основным принципом биологической борьбы с сорняками должен стать максимальный захват культурными растениями экологических ниш во времени и в пространстве. Важную роль играет развитие методов экологической инженерии при подборе экотипов и жизнен-

ных форм растений для конструирования фитоценозов длительного пользования.

На уровне агроценопопуляций оптимизацию агроэкосистем можно проводить путем изменения ряда экологических показателей: плотности и пространственного размещения; фенологических характеристик — дружности всходов и интенсивности их развития в первые недели (с использованием биофизических методов предпосевной обработки, а также выбора сроков посева); дифференциации агроценопопуляций благодаря подбору смеси сортов, обеспечивающему максимальное использование пространства и ресурсов (возможно повышение гетерогенности популяций на фенотипической основе).

22.5. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ АГРОЛАНДШАФТОВ

Сельскохозяйственная организация территории должна осуществляться с учетом ее ландшафтно-типологических и региональных различий. Одной из важнейших задач рациональной организации территории является формирование такого морфологического облика агроландшафта, который отличался бы не только высокой продуктивностью, но и экологическим разнообразием, эстетической привлекательностью и, кроме того, удовлетворял бы санитарно-гигиеническим требованиям.

Такая организация сельскохозяйственной территории может быть достигнута на основе глубокого изучения, анализа и учета ландшафтной неоднородности земельного фонда, разработки конкретных землеустроительных, лесовосстановительных, мелиоративных и других проектов, которые должны предусматривать оптимальное сочетание параметров хозяйственной нагрузки в конкретном ландшафте. Важнейшим нормативным критерием здесь является уровень допустимого однообразия агроландшафтов: оптимальное сочетание технологических условий территории (размеры и конфигурация полей и т. д.) и биотических составляющих (участки лесов, полей, лугов, кустарников, болот и т. д.).

С экологической точки зрения современный ландшафт — это целостная система взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов. Необходимой предпосылкой для грамотного управления процессами использования ландшафта является разработка теоретико-методологических основ решения конкретных практических задач. При этом к вопросам первоочередной важности относится оценка устойчивости современного ландшафта (в том числе и аграрного) и его оптимизации.

В соответствии с приводившейся ранее общей трактовкой понятия «устойчивость», по отношению к ландшафту ее можно рассматривать как способность сохранять свои структуру и функции при внешних воздействиях.

Под оптимальным понимают ландшафт, структуры и функции которого максимально соответствуют возможностям и потребностям нормального сбалансированного развития отдельных его компонентов или определенным целям его использования. В соответствии с этим оптимизация ландшафта — это комплекс мероприятий по сохранению или модификации существующих и формированию новых связей между различными составляющими ландшафта в целях его рационального использования, сохранения полезных свойств (в том числе и природных ресурсов) и предупреждения их возможной утраты, установление максимально полного соответствия природного потенциала ландшафта социально-экономическим функциям, задаваемым ему человеком. В оптимизации техногенных ландшафтов главное место занимает целенаправленное восстановление или реконструкция природно-техногенных комплексов, обеспечивающая возобновление и повышение их продуктивности, природоохранной, хозяйственной, санитарно-оздоровительной и эстетической ценности.

При оценке экологической устойчивости и оптимизации ландшафта рекомендуется учитывать следующие соображения.

1. Оценка состояния и прогнозирование изменений в ландшафтах должны осуществляться на основе системного изучения, так как научно доказано на-

личие биотической саморегуляции и самоорганизации (в той или иной степени) ландшафта как системы, обладающей территориальной устойчивостью и четкой ограниченностью в пространстве.

2. Системный подход к ландшафту позволяет выявить его структуры, а также существенные связи компонентов в пространстве и во времени, отсюда вытекает возможность поиска вариантов, принципов и методов согласования взаимоотношений для различных типов ландшафта.

3. Экологическая стабильность и продуктивность экосистем (агроэкосистем) тесно связана с разнообразием абиотических и биотических элементов ландшафта, поэтому особенно важно грамотно оценить сложившиеся ландшафтные структуры и предполагаемые их модификации на основе учета коэффициентов экологического разнообразия.

4. Экологическая устойчивость ландшафта включает как устойчивость к антропогенным нагрузкам, так и гибкость системы в ее реакции на то или иное нарушение, поэтому при оценке вещественно-энергетических и других связей между компонентами необходимо определять потенциальные нагрузки на ландшафт.

5. Для определения оптимальной структуры и функциональных связей отдельных агроэкосистем в соответствии с эколого-экономическим потенциалом агроландшафта следует принимать во внимание первичную биологическую продукцию, пространственно-временное распределение популяций организмов по трофическим цепям, биоразнообразию.

Диагностируя фактическое состояние конкретных ландшафтов и оценивая возможности их использования и развития, нельзя не учитывать (по определению) как особенности состояния природно-территориального комплекса, так и наличествующие техногенные системы. Соотношение тех и других можно рассматривать в качестве критерияльной основы для характеристики степени пригодности ландшафта к использованию в сельскохозяйственных целях (для формирования агроланд-

шафта той или иной направленности). При этом требуется располагать разносторонней обстоятельной информацией, сбор и систематизация которой являются первоочередным этапом последующих разработок.

Агроландшафты являются целостными генетически однородными пространственно-временными единицами, несмотря на то, что определенная часть их естественного растительного покрова заменена агроценозами.

Характеристика агроландшафтов должна содержать объективные сведения об особенностях геологического строения территории и современных геоморфологических процессах (карст, оползни, суффозия); о рельефе и составе почвенных разностей; об агроклиматических и агрометеорологических условиях, о водном балансе, состоянии растительного и животного мира.

Например, для анализа и оценки почвенно-мелиоративных условий необходимы данные о площади почв по их основным классификационным единицам, агрохимических характеристиках, площадях, подверженных эрозии и дефляции, оползням, вторичному засолению, заболачиванию и т. д. Должна быть раскрыта причинная обусловленность отрицательных природных процессов и тенденций их развития, разработана система мер борьбы с неблагоприятными явлениями. Очень важно определить перспективные площади для сельскохозяйственного освоения и необходимые для этого мелиоративные работы. Необходимо также оценить потери земельных угодий, вызванные необоснованным отводом земель.

Столь же подробные характеристики должны быть даны и по другим компонентам ландшафта. При этом весьма существенно, чтобы при покомпонентном анализе как основе последующих интегральных обобщений получили должное освещение наиболее значимые особенности компонент, оказывающие как прямое, так и косвенное воздействие на состояние и развитие ландшафта, целесообразные направления его хозяйственного использования, пути и способы модификации и т. д. Так, при рассмотрении морфологической структуры уместно обратить внимание на состав и

соотношение урочищ, степень нарушенности пространственной структуры, а также на межэкосистемные абиотические связи в агроландшафте.

Для соответствующих практических решений представляет интерес предложенный В. М. Фридландом (1967) индекс антропогенной преобразованности конкретной территории ($I_{a.t}$), который определяют по формуле

$$I_{a.t} = r g^m g,$$

где r — ранг антропогенного преобразования в баллах; g^m — площадь исследуемой территории, % от общей земельной площади; g — общая земельная площадь.

Региональный же индекс антропогенной преобразованности ($I_{a.p}$) можно представить как

$$I_{a.p} = \sum_{i=1}^n I_{a.t}.$$

При этом

$$r_{a.t} \geq I_{a.p} \leq r_{a.t}^{\max}.$$

Равновесное состояние агроландшафтов достигается путем оптимизации круговорота веществ и потоков энергии. Оценка тенденций изменения геохимической активности среды дает достаточно репрезентативный показатель для прогнозирования ее возможной самоочистки. Основную роль в стабилизации биогеоценотического процесса играют почвы, выступающие в качестве своеобразного связующего звена, регулятора и преобразователя различных веществно-энергетических потоков. Отсюда вытекает первостепенное значение сохранения и поддержания саморегулирующихся свойств почв. Несомненно, что и устойчивость агроландшафтов к антропогенным воздействиям в значительной мере зависит от степени устойчивости обрабатываемых пахотных земель к разнообразным нагрузкам техногенного происхождения.

По данным М. А. Глазовской, регулируя скорость геохимических превращений и интенсивность выноса токсичных веществ из агроэкосистем, можно управлять их устойчивостью, т. е. способностью к самоочищению. При этом

доминирующее значение принадлежит узловым звеньям миграционной структуры территории. Это те геохимические барьеры, от которых в основном зависит степень накопления и выноса техногенных веществ. Так, количественная оценка влияния лесных фитоценозов на окружающую среду позволила выявить их роль как биогеохимического барьера, значимость в борьбе с вредителями сельскохозяйственных культур, способность к воспроизводству чистой воды и кислорода, восстановлению деградированных почв и т. д.

Конечно, нельзя упускать из виду, что устойчивость ландшафта (аглоландшафта) в первую очередь зависит от метеорологических и климатических условий. В этой связи особенно важен учет факторов, определяющих энергетические процессы в ландшафте. В частности, энергетику основных абиогенных и биогенных процессов в ландшафте, а также скорость и направление геохимических превращений техногенных продуктов определяет радиационный баланс. Нельзя также недооценивать значение режима увлажнения и т. д.

Только комплексный подход, интегрирующий многообразие факторов, взаимосвязей и взаимозависимостей, позволяет грамотно и конструктивно решать задачи формирования устойчивых и оптимальных ландшафтов.

Для характеристики состояния, устойчивости и некоторых других аспектов ландшафтов рекомендуется применять следующие комплексные оценки.

1. Технологические оценки, определяющие степень пригодности аглоландшафта для конкретного вида хозяйственной деятельности. Здесь целесообразно учитывать природно-ресурсный потенциал и эколого-хозяйственное состояние территории, кадастровые данные о ландшафтах, экспертные и прогнозные оценки, стоимостные показатели.

2. Оценки, отражающие степень понижения устойчивости аглоландшафта в зависимости от различных воздействий, в том числе: биоэкологические (по степени неблагоприятных изменений биотической компоненты и ее генфонда); демэкологические (по степени природных изменений, неблагопри-

ятных для здоровья человека и его социального статуса), устанавливаемые посредством использования биоиндикационных методов, различных норм с учетом предполагаемого развития конкретных территорий.

3. Оценки, характеризующие степень изменения аглоландшафтов путем сравнения показателей фактических или прогнозируемых состояний с показателями нормативов как для абиотической, так и для биотической составляющей (ГОСТы, ПДЭН, региональные и местные нормы, индикаторы и др.).

С позиций системного подхода, учитывающего особенности формирования и функционирования ландшафтов, представляются возможными следующие предпосылки оптимизации аглоландшафтов.

Во-первых, формирование и поддержание на оптимальном уровне структуры и функционирования земельных угодий, обеспечивающих необходимое разнообразие и устойчивость аглоландшафта. При этом необходимо основываться на геоэкологическом мониторинге ландшафтного фонда, что позволяет объединить различные типы агроэкосистем, урочищ и фаций в гомогенные по утилитарно-экологическим функциям группы.

Во-вторых, экологическая оптимизация аглоландшафтов должна обеспечивать восстановление и сохранение местного генетического фонда живой природы, а также восстановление и сохранение естественных ценозов.

В-третьих, восстановление и сохранение обводненности территории, которая должна соответствовать естественному фону данного ландшафтного образования. В этом отношении важны стабилизация и поддержание природно-обусловленного уровня поверхностных и грунтовых вод, возрождение утраченных водотоков и родников. Достаточно значимы экспертиза проводимых водохозяйственных мероприятий и функционирующих гидротехнических сооружений, установление экологических критериев регулирования и использования местного и транзитного стока поверхностных вод.

В-четвертых, экологическая оптимизация аглоландшафтов обеспечивается

целенаправленным развитием сети охраняемых природных территорий различных рангов и статуса (от микрозаказников до заповедников). При этом необходимо учитывать как ландшафтно-географические (уровни организации и иерархию ландшафтов), так и биоэкологические (наличие природно-миграционных русел, транзитных коридоров, очагов выживания) предпосылки.

Учету и сохранению подлежат также эстетические и этические ценности, рекреационно-культурные ресурсы агроландшафта.

Рассматривая вопросы устойчивости и оптимизации ландшафтов, очень важно располагать системой количественных оценок и характеристик изучаемых процессов. В этой связи заслуживает внимания возможность оценивать степень экологической устойчивости ландшафта с помощью коэффициента экологической стабилизации (КЭСЛ), интегрирующего качественные и количественные характеристики абиотических и биотических элементов ландшафта.

Согласно В. А. Баранову, первый метод оценки с помощью этого коэффициента основан на определении и сопоставлении площадей, занятых различными элементами ландшафта, с учетом их положительного или отрицательного влияния на окружающую среду:

$$КЭСЛ_1 = \frac{\sum_{i=1}^n F_{ст}}{\sum_{i=1}^m F_{нст}}$$

где $F_{ст}$ — площади, занятые стабильными элементами ландшафта — сельскохозяйственными культурами и растительными сообществами, оказывающими на него положительное влияние (леса, зеленые насаждения, естественные луга, заповедники, заказники и пахотные земли, занятые многолетними культурами: люцерной, клевером, травосмесями); $F_{нст}$ — площади, занятые нестабильными элементами ландшафта (ежегодно обрабатываемые пашни, земли с неустойчивым травяным покровом, склонами, площадями под застройкой и дорогами, зарастающими или заиленными водоемами, местами добычи полезных ископаемых, другими участками, подвергшимися антропогенному опустошению).

Оценку ландшафта производят по следующей шкале:

КЭСЛ ¹	Характеристика ландшафта
0,5	Нестабильность хорошо выражена
0,51...1,00	Состояние нестабильное
1,01...3,00	Состояние условно стабильное
4,51 и более	Стабильность хорошо выражена

Биотические элементы ландшафта оказывают неодинаковое влияние на его стабильность. Для оценки необходимо учитывать не только их площадь, но и внутренние свойства, а также качественное состояние (влажность и профиль биотопа, структура биомассы, геологическое строение, местоположение и морфология поверхности):

$$КЭСЛ_2 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i K_{э.з} K_r}{F_T}$$

где f_i — площадь биотического элемента; $K_{э.з}$ — коэффициент, характеризующий экологическое значение отдельных биотических элементов (например, площадь застройки — 0; пашня — 0,14; виноградники — 0,29; хвойные леса — 0,38; сады, лесные культуры, лесополосы — 0,43; огороды — 0,5; луга — 0,62, хвойно-широколиственные леса — 0,63; пастбища — 0,68; водоемы и водотоки — 0,79; лиственные леса — 1,0); K_r — коэффициент геолого-морфологической устойчивости рельефа (1,0 — стабильный, 0,7 — нестабильный, например, рельеф песков, склонов, оползней); F_T — площадь всей территории ландшафта.

Оценку ландшафта производят по следующей шкале:

КЭСЛ ²	Характеристика ландшафта
< 0,33	Нестабильный
0,34...0,50	Малостабильный
0,51...0,66	Среднестабильный
Более 0,66	Стабильный

Расчеты по КЭСЛ¹ и КЭСЛ² дают основную информацию о степени экологической устойчивости исследуемого ландшафта, необходимую для выбора соответствующих мероприятий по его защите и реформированию.

22.6. УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ

Современные агроэкосистемы — один из ключевых факторов формирования и развития биотехносферного пространства и незаменимое средство жизнеобеспечения человечества, поэтому они играют важную функциональную роль в процессах, происходящих в

биосфере, и в поддержании ее устойчивости. Исходя из рассмотренных ранее общих принципов организации и оптимизации агроландшафтов и агроэкосистем, можно заключить, что обеспечение устойчивости последних требует серьезного внимания.

Категория «устойчивость экосистем» имеет основополагающее значение для оценки современных и перспективных систем земледелия, практических мер по управлению агроэкосистемой, а также эффективности реконструкции существующих и создания новых агроэкосистем. Естественно, что результаты такого рода оценки зависят от смысла, вкладываемого в понятие «устойчивость», которое, что весьма существенно, в современной литературе трактуется по-разному.

Согласно приводившемуся ранее определению устойчивости агроэкосистем — это свойство системы сохранять и поддерживать значение своих параметров и структуры в пространстве и во времени, качественно не меняя характер функционирования. Агроэкосистема представляет трансформированную в результате хозяйственной деятельности человека часть наземной экосистемы. Структуру и функционирование ее регулируют с помощью дополнительного введения вещества (удобрения, пестициды, мелиоранты) и энергии для поддержания оптимальной и стабильной продуктивности выращиваемых культур и предотвращения загрязнения окружающей среды. Природные экосистемы в отличие от агроэкосистем — это совокупность живых организмов в неорганической среде, которые, занимая определенное пространство, связаны между собой обменом вещества и энергии и способны к саморегуляции.

Устойчивость системы, как известно, характеризует принцип Ле Шателье. До начала прошлого столетия поглощение экосистемами суши углерода подчинялось этому принципу, т. е. в то время биота эффективно компенсировала все воздействия человека на экосистемы и проблемы загрязнения окружающей среды не возникало. В начале прошлого столетия экосистемы суши не только перестали поглощать избыток углерода из атмосферы, но и сами начали выбра-

сывать его, увеличивая загрязнение окружающей среды, обусловленное промышленностью и транспортом. Структура экосистем суши оказалась существенно нарушенной.

В доиндустриальную эпоху площади используемых земель составляли менее 5 % территории всей суши, причем человек использовал не более 20 % производимой на них продукции. Таким образом, общая доля потребляемой человеком продукции биосферы не превышала 1 %. Сегодня эта доля на порядок выше. Процессы синтеза и распада органических веществ осуществляются в экосистемах с огромной скоростью, что создает опасность быстрого разрушения окружающей среды при нарушении замкнутости круговорота веществ. Именно благодаря замкнутости биохимических круговоротов функционирование экосистем оказывается возможным и осуществляется на основе энергии, образующейся при распаде органических соединений. Поэтому необходимым условием устойчивости является ограничение притока питательных веществ в экосистему и количества этих веществ, образующихся непосредственно в экосистеме. Продуктивность процессов синтеза и разложения органического вещества должна намного превышать внешнее поступление питательных веществ в экосистему. Если приток покрывает половину биологических потребностей, то поддержание устойчивой замкнутости круговорота веществ становится невозможным. Случайное совпадение количеств питательных веществ, поступающих в систему, и выводимых из нее продуктов жизнедеятельности, сохраняющее стабильность окружающей среды, не может быть устойчивым. Поэтому интенсивности синтеза и разложения должны превосходить внешние потоки питательных веществ настолько, насколько биота, функционирующая на основе замкнутого круговорота веществ, способна компенсировать любые изменения состояния окружающей среды и превосходить по конкурентоспособности биоту, существующую за счет внешних потоков веществ. Следовательно, только запасы и концентрация питательных веществ в окружающей среде могут определяться и поддер-

живаться на устойчивом уровне биотой экосистем.

Параметрами устойчивости агроэкосистемы являются функции, режимы и свойства почвы; структура, организация и продуктивность агрофитоценоза; структура и организация микробного сообщества; интенсивность и сбалансированность биогеохимического круговорота.

Для количественной оценки устойчивости экосистемы учитывают связь воздействующих факторов (тип, интенсивность, длительность, количество возмущений и др.), а также связь экосистем с основными параметрами, ответственными за ее устойчивость, и областями (зонами) устойчивого состояния. Таких зон может быть от одной до нескольких.

Изменение структуры экосистемы или переход ее параметров в область неустойчивого состояния обуславливают потерю устойчивости. Если переход от одной области устойчивого равновесия в другую сопровождается сохранением внутренних связей экосистемы, проявляется свойство ее упругости, т. е. при переходе из одной области устойчивого равновесия в другую внутренние связи экосистемы сохраняются. Способность экосистемы вернуться в прежнюю область устойчивого равновесия после временного воздействия природного или антропогенного фактора характеризует ее стабильность. Названные категории пригодны и для характеристики антропогенных экосистем. Основная проблема в этом случае заключается в качественной и количественной формализации соответствующих категорий применительно к особенностям агроэкосистемы.

Несомненно, что в ряду параметров, ответственных за устойчивость и стабильность агроэкосистемы, первостепенное значение имеет продуктивность агроценозов, падение которой по самым разным причинам (например, дефицит или избыток элементов минерального питания, засуха или переувлажнение, деградация почвы и т. п., рис. 22.4) ниже заданного уровня свидетельствует о переходе агроэкосистемы в неустойчивую область. Однако снижение урожайности — это уже

конечная фаза реакции агроэкосистемы на имеющиеся возмущения, которой предшествуют изменения других параметров, таких, как и активность микробного сообщества, сбалансированность биогеохимических циклов элементов, уровень плодородия почвы.

Контроль за названными параметрами позволяет выявить скрытые формы нарушений устойчивости и достаточно оперативно поддерживать стабильность агроэкосистемы, т. е. сохранять заданные характеристики параметров в течение определенного промежутка времени. Следовательно, устойчивость и стабильность агроэкосистемы недостаточно рассматривать в виде простой функциональной зависимости между каким-либо воздействием фактором и одним из параметров, ответственных за устойчивость, как это распространено в большинстве современных моделей.

Более объективную оценку могут дать комплексные почвенно-агрохимические, эколого-физиологические и эколого-токсикологические исследования с применением методов системного анализа и математического моделирования. Наибольшая трудность заключается в выделении зон устойчивости агроэкосистемы, определении их границ и времени сохранения или достижения нового устойчивого состояния при наличии кратковременных или постоянных воздействий, поскольку эти вопросы еще не разработаны в полной мере даже в концептуальном плане.

Рассмотрим некоторые закономерности отклика основных слагаемых агроэкосистемы, которые одновременно являются и параметрами ее устойчивости (микробное сообщество, агрофитоценоз, почва), на действие аграрных форм антропогенного фактора.

22.7. РЕАКЦИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА НА АНТРОПО- ГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Микробное сообщество, которое в основном определяет биохимические свойства почвы, представляет собой совокупность совместно обитающих орга-

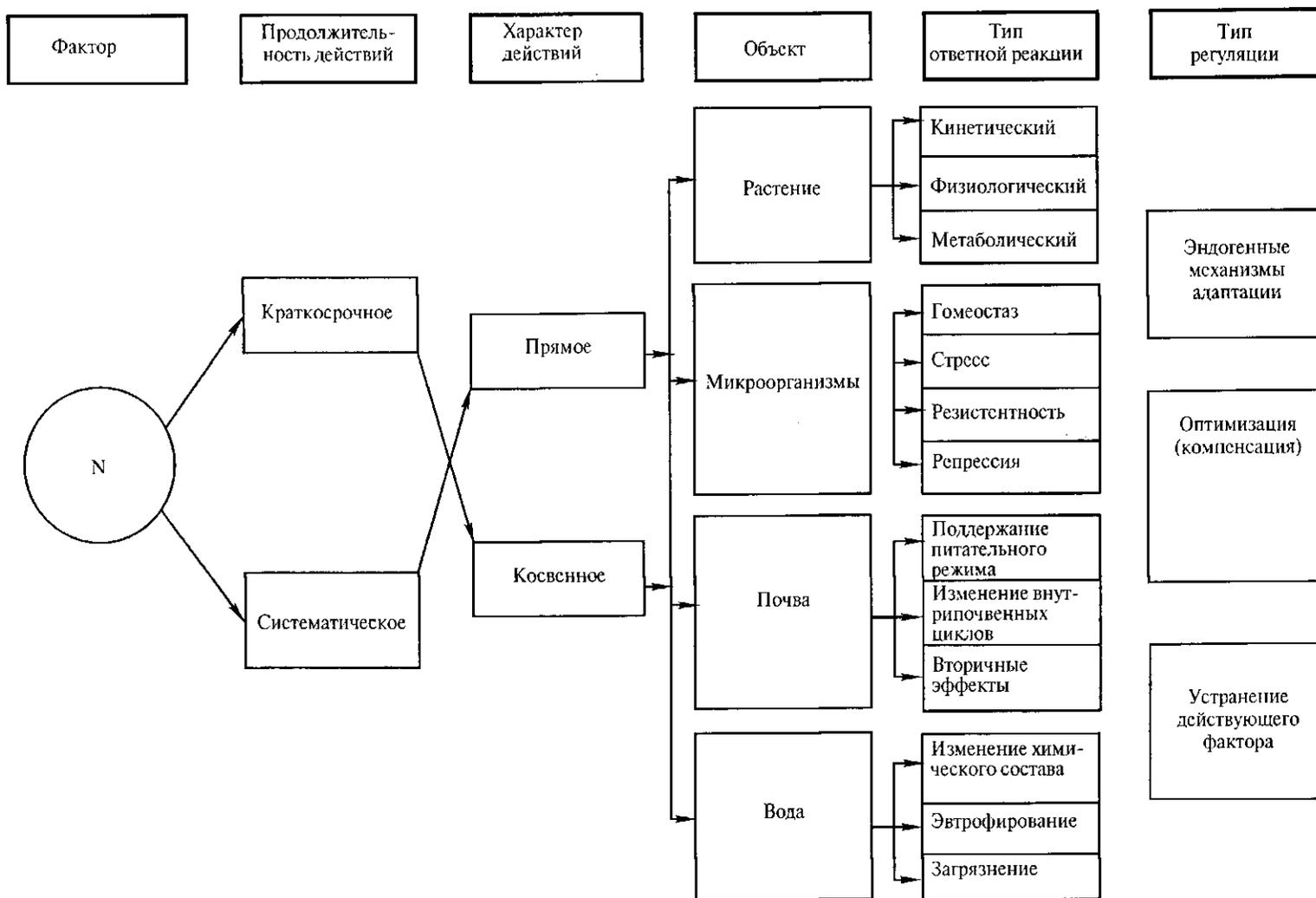


Рис. 22.4. Типы ответных реакций компонентов экосистем на антропогенное воздействие (азотные удобрения)

низмов разных видов, составляющих определенное экологотрофное единство. Из всех биотических компонентов экосистемы микробное сообщество наиболее чувствительно к изменениям экологической обстановки, происходящим в ходе сельскохозяйственного освоения экосистем, и наличием других форм антропогенного воздействия, в том числе и загрязняющих веществ. В ответ на возрастающие антропогенные нагрузки микробное сообщество претерпевает структурно-функциональные изменения, выражающиеся в последовательной смене четырех адаптивных зон. Каждой из них свойствен определенный интервал воздействующей нагрузки, определяющий совокупность изменений активно функционирующего в почве микробного сообщества, обеспечивающих его приспособление к данным условиям.

В первой адаптивной зоне (зона гомеостаза), характерной для низкого уровня нагрузки, происходит изменение общей биомассы микробного сообщества при постоянстве его состава и организации (табл. 22.4).

22.4. Адаптивные зоны изменчивости микробного сообщества в зависимости от уровня антропогенной нагрузки

Адаптивная зона	Признаки
Гомеостаза	Изменение общей биомассы активно функционирующего сообщества; сохранение постоянства состава и организации сообщества
Стресса	Перераспределение популяций по степени доминирования; развитие в почве токсинообразующих микроорганизмов; снижение продуктивности сельскохозяйственных культур на 30.. .60%
Резистентности	Резкое сокращение видового разнообразия; преимущественное развитие устойчивых к данному фактору популяций микроорганизмов; гибель большинства видов
Репрессии	Полное элиминирование роста и развития микроорганизмов

Средние уровни нагрузки вызывают изменения в организации микробного сообщества в виде перераспределения популяций по степени доминирования, тогда как видовой состав сообщества остается прежним (зона стресса). В соот-

ветствии с характерными для этой адаптивной зоны концентрациями агрохимикатов и тяжелых металлов происходит доминирующее развитие токсинообразующих микроорганизмов. Для третьей адаптивной зоны (зона резистентности), характеризующейся высоким уровнем нагрузки, характерны изменения состава микробного сообщества: его видовое разнообразие резко сокращается из-за гибели большинства организмов, свойственных контрольной почве. Преимущественное развитие получают устойчивые к данному фактору популяции. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к полному подавлению роста и развития микроорганизмов в почве (зона репрессии).

Из приведенной схемы реакции микробного сообщества на антропогенные факторы следует, что допустимой для него нормой нагрузки можно считать ту, которая не выводит систему из зоны гомеостаза, где микробное сообщество является устойчивой и стабильной системой. Характерные для зоны стресса изменения в микробном сообществе сохраняются в течение длительного времени, несмотря на прекращение воздействия и восстановление условий окружающей среды, что свидетельствует о переходе системы в другое устойчивое состояние при потере стабильности.

Антропогенное вмешательство в микробное сообщество и перестройка его состава и организации могут давать самые разнообразные эффекты: от позитивных до нейтральных и отрицательных. Устранение кислотности почвы путем известкования благоприятно сказывается на развитии азотфиксирующей микрофлоры. Происходящее перераспределение степени доминирования микроорганизмов в сообществе, вызванное известкованием кислой дерново-подзолистой почвы, обеспечивало увеличение его устойчивости к высоким дозам минеральных удобрений, что выразилось в расширении зоны гомеостаза и увеличении предельной дозы удобрений, вызывающей микробный токсикоз.

Внесение полного минерального удобрения в умеренных дозах стимулирует микробную активность при избыт-

ке легкоразлагаемых углеродсодержащих соединений, что свойственно почвам, обогащенным растительными остатками с высоким отношением C:N.

В черноземах перестройка микробных сообществ проявляется в преимущественном развитии микроорганизмов, осуществляющих минерализацию органических азот- и углеродсодержащих соединений. Реакция денитрификаторов на антропогенное воздействие проявляется преимущественно на последнем этапе нитратредукции, которая может как усиливаться (например, при орошении), так и снижаться. Для дiazотрофов свойственно снижение или сохранение исходного уровня азотфиксирующего потенциала по мере увеличения антропогенных нагрузок. При длительном применении минеральных удобрений изменяются состав и численность автотрофных микроорганизмов и их трофических зоопартнеров. Систематическое применение азотных удобрений приводило к снижению вдвое численности представителей альгоценоза, унификации автотрофного сообщества, которое в данном случае включает только три вида одноклеточных зеленых водорослей, исключению из верхних горизонтов почвы нематод, коллембол, личинок насекомых и преобладанию клещей.

Негативные последствия перестройки микробного сообщества в ответ на высокие дозы агрохимикатов проявляются в ингибировании почвенных ферментов и ограничении метаболической способности почвы, в нарушении внутрипочвенных циклов биогенных элементов, в накоплении продуцируемых грибами и микроорганизмами фенольных соединений, органических кислот, наличие которых свидетельствует о развитии в почве признаков фитотоксичности. Так, в длительно удобряемой почве чайных плантаций содержание фенольных соединений было в 10...15 раз выше, чем в контрольной.

К серьезным нарушениям микробных сообществ почвы приводят загрязненные минеральными примесями атмосферные осадки. Из-за загрязнения атмосферы сернистым ангидридом, NH_3 и NO_x в лесной подстилке и верхнем горизонте почвы вблизи азотно-ту-

кового завода преобладали аммонификаторы и грибы, тогда как численность актиномицетов, целлюлозолитиков и нитрификаторов резко снижалась.

22.8. ТИПЫ РЕАКЦИИ АГРОФИТОЦЕНОЗА НА АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Агрофитоценоз относится к числу важнейших компонентов агроэкосистемы, а его продуктивность в наибольшей мере характеризует устойчивость и стабильность экосистемы, находящейся в сельскохозяйственном использовании. В отличие от природной экосистемы, где продуктивность фитоценоза регулируется внутренними механизмами, продукционный процесс в агроэкосистеме требует постоянного контроля и управления в виде разнообразных форм аграрной деятельности человека. Поэтому растения в ходе онтогенеза испытывают интенсивные прямые или трансформированные антропогенные воздействия, которые не всегда приводят к увеличению урожайности.

Поддержание в течение определенного промежутка времени заданного уровня урожайности как показателя стабильности агроэкосистемы может быть не достигнуто из-за экстремальных метеоусловий, загрязненности атмосферного воздуха, выпадения кислотных осадков, неблагоприятных свойств и режимов почвы, ее загрязнения, стрессовой реакции почвенных микроорганизмов на антропогенные нагрузки и возникновения почвенной токсичности, почвоутомления, возделывания сортов некоторых культур, малоустойчивых к болезням, вредителям и сорным растениям, адаптации последних к пестицидам, неодинаковой реакции видов и сортов растений на возрастающие дозы агрохимикатов, которые оказывают полифункциональное влияние на растения, выступая в зависимости от концентрации стимулятором или ингибитором физиологических процессов, и других причин.

По характеру действия фактор может быть лимитирующим, нормальным, оптимальным и угнетающим. Реакция растений на каждый природный или ант-

ропогенный фактор подчиняется известной криволинейной зависимости, характерной для всех биологических систем, в пределах которой проявляется несколько характерных зон, соответствующих типу реакции растений (рис. 22.5). Каждая зона соответствует определенному типу реакции. На основе анализа закономерности изменений продуктивности растений в широком интервале доз азотных удобрений можно выделить три типа (нормы) реакции растений на количество внесенного азота, проявляющиеся в изменении продуктивности и характера обмена веществ: кинетический (А), физиологический (Б) и метаболический (В). Первый тип реакции (А) характерен при лимитирующем и нормальном обеспечении растений азотом, второй (Б) — при нормальном и оптимальном и третий (В) — при избыточном (угнетающем).

В кинетической зоне растения активно реагируют на увеличение концентрации азота, усиливаются ростовые процессы, дыхание, синтез белковых соединений, повышается продуктивность в линейной зависимости от доз применяемых удобрений.

В физиологической зоне растения могут достигать максимальной продуктивности, однако прирост сухого веще-

ства от вносимых доз азота минимален. Физиологические изменения растительного организма в пределах этой зоны достигают предпатологических значений, подтверждением чего служит ухудшение многих показателей качества урожая в области максимальных его величин. Известно, что оптимум качества достигается при меньших дозах азота, чем те, которые необходимы для получения наибольшего урожая.

Для зоны с метаболическим типом реакции характерно ограничение ростовых процессов, в растениях накапливаются промежуточные продукты метаболизма, значительная часть поглощенного азота нитратов не метаболизируется, снижаются скорость образования хлорофилла и интенсивность фотосинтеза, нарушается обмен углеводов и минеральных веществ и, как следствие, снижается продуктивность растений. Растения, произрастающие в условиях, вызывающих метаболический тип реакции, подвержены различным болезням и нападению вредителей, их продукция не отвечает технологическим и гигиеническим требованиям.

Необходимо отметить, что многие признаки метаболического типа реакции свойственны растениям, испытывающим острый дефицит того или иного элемента минерального питания. Следовательно, при остродефицитном или избыточном обеспечении растений азотом создаются предпосылки потери агрофитоценозом своей устойчивости, последствия чего могут проявиться в самых разнообразных вариантах (массовые поражения посевов вредителями и болезнями, ограниченное поступление в почву корневых выделений и растительного опада, получение некондиционного семенного материала, загрязнение водоисточников, деградация почвы и т. д.). Следует отметить, что подобная ситуация может иметь место лишь при многолетнем отсутствии агрономического контроля за посевами и в принципе маловероятна. Поскольку остродефицитный или избыточный режим питания растений легкоустрашим (например, внесение минеральных удобрений в первом случае или соломы во втором), а границы проявления метаболической реакции достаточно подвижны и легко

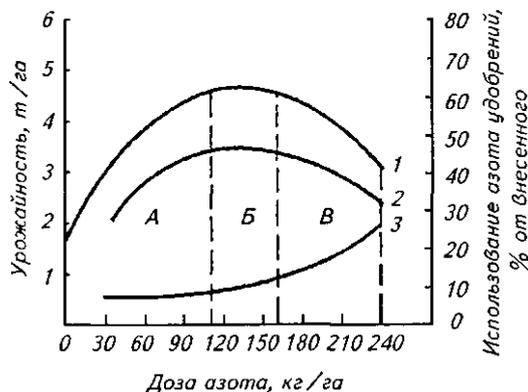


Рис. 22.5. Закономерности действия возрастающих доз азотных удобрений на продуктивность растений, использование ими азота удобрений и его потери:

1 — урожай зерна; 2 — использование азота удобрений растениями; 3 — потери азота удобрений; А, Б, В — типы реакции растений на внесение азотных удобрений

смещаются, в частности, изменением соотношения между азотом, фосфором и калием или использованием различных модификаций внесения удобрений в почву, подобные нарушения устойчивости агрофитоценоза в этих условиях являются временными и не ведут к потере стабильности агроэкосистемы. Кроме того, для каждого вида и сорта характерны свои пределы нормального, оптимального и избыточного содержания азота в почве, в рамках которых растения развиваются по одному из перечисленных типов реакции на азотное питание.

Таким образом, неизменными условиями сохранения устойчивости и стабильности агроэкосистемы являются оптимизация структуры посевных площадей и дифференцированное размещение культур, что позволит ограничить негативные эффекты узкой специализации растениеводства. При этом удобрение сельскохозяйственных культур должно обеспечивать кинетический или, в крайнем случае, физиологический тип реакции растений.

Поиск и разработка экологически безопасных технологий выращивания сельскохозяйственных культур до сих пор актуальны, поскольку они соответствуют принципам рационального природопользования. К ним относится, например, технология локального применения азотных удобрений. Она упорядочивает превращение азота в корнеобитаемом слое почвы, регулирует потребление азота удобрениями и азота почвы растениями в онтогенезе; оказывает направленное воздействие на продукционный процесс и формирование урожая с оптимальными показателями качества. Аккумуляция азотистых соединений в системе почва — растение существенно улучшается, что способствует повышению устойчивости возделываемых культур к неблагоприятным абиотическим факторам (рис. 22.6).

Согласно технологии локального применения азотные удобрения вносят в почву на глубину 10...12 см и на расстоянии 6...7 см от ряда высеваемых семян, если высевают семена и внесение удобрений осуществляют одновременно с помощью комбинированной сеялки

(рис. 22.7). При локальном применении удобрений их вносят в почву в виде узкой ленты или экрана на заданную глубину. Если же удобрения вносят заблаговременно (перед посевом культуры), то их размещают перпендикулярно будущим рядам высеваемых семян. При этом расстояния между лентами удобрений составляют для зерновых культур 15 см, для пропашных — 30 см.

Благодаря специфике поведения азота удобрения, которая складывается при локализации их в почве, растения используют в 1,2...1,6 раза больше азота, чем при разбросном применении туков (табл. 22.5). При этом резко снижаются газообразные потери азота (в 1,6...3,2 раза), что придает этой технологии экологическую целесообразность.

22.5. Использование азота удобрений растениями и его потери при различных способах внесения азотных удобрений, % от внесенной дозы

Культура	Использование азота, %		Потери азота, %	
	при разбросном внесении	при локальном внесении	при разбросном внесении	при локальном внесении
Озимая пшеница	28	43	63	39
Яровая пшеница	27	43	42	19
Ячмень	38	59	32	10
Гречиха	32	40	25	10
Свекла кормовая	39	54	31	22
Картофель	47	71	35	13

Что касается агрономической эффективности, то при локальном внесении азотных удобрений продуктивность сельскохозяйственных культур на 22...46 % выше, чем при разбросном их применении. Наибольшей эффективностью эта технология отличается при возделывании кукурузы и викоовсяной смеси.

Повышению устойчивости растений к биотическим факторам (болезням) способствуют защитно-стимулирующие составы на природной основе, поскольку использование химических средств защиты растений привело к значительному загрязнению объектов окружающей среды, что создает реальную угрозу здоровью человека. К таким негативным последствиям не приводит использование биостимуляторов, созданных на основе природных препаратов, к которым относится культура цианобакте-

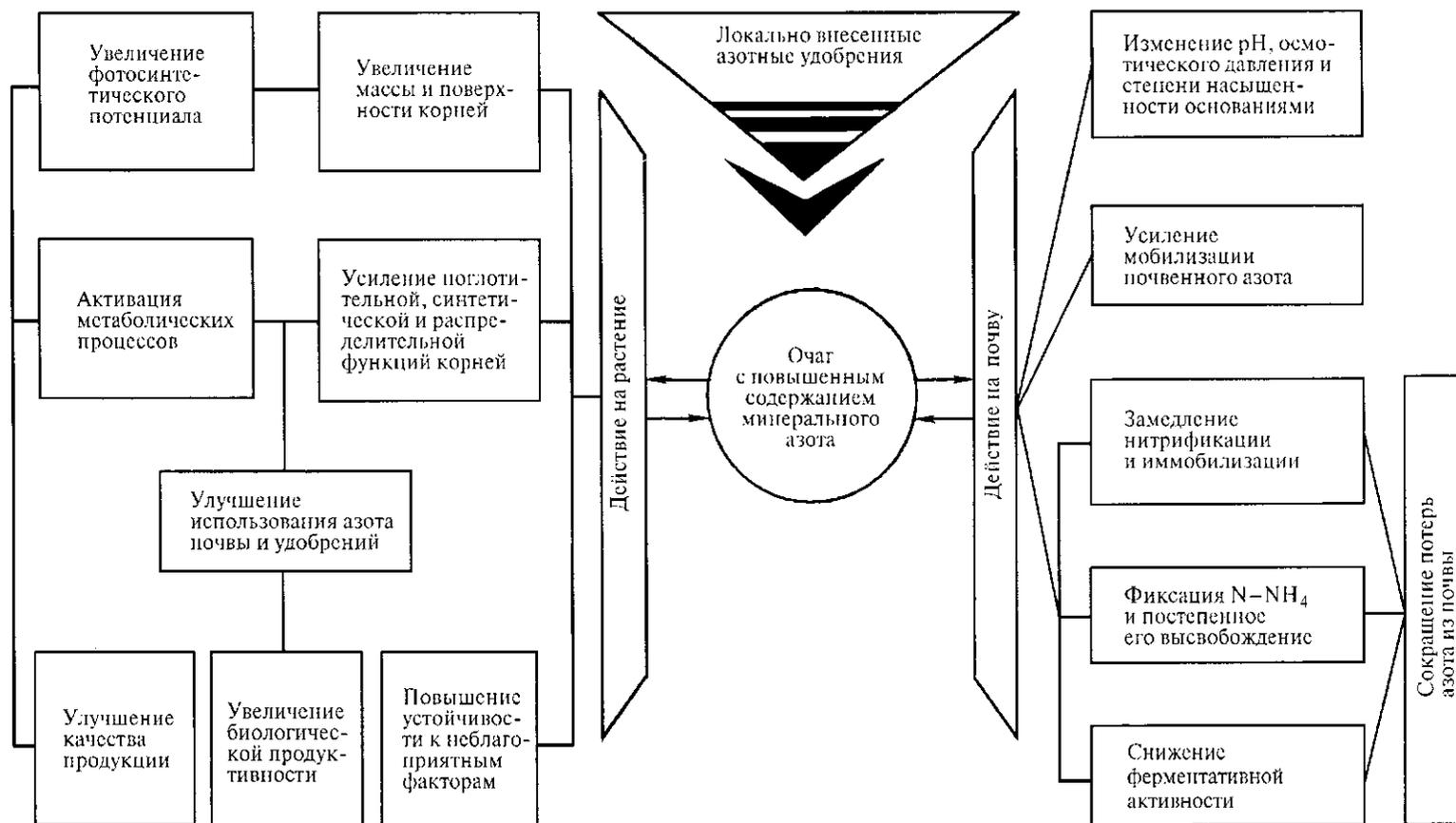


Рис. 22.6. Схема влияния локального способа внесения азотных удобрений на систему почва — растение

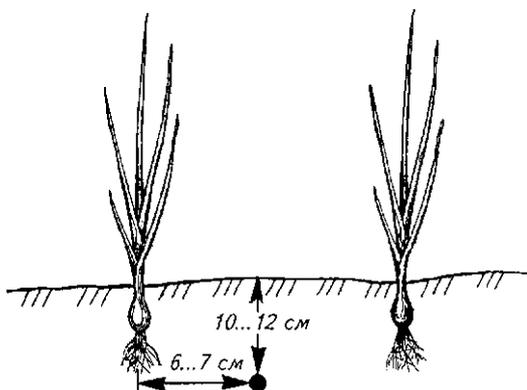


Рис. 22.7. Модель размещения ленты удобрений при локальном их применении

рий. Добавление этого препарата в болтушку перед обработкой корней рассады капусты способствовало существенному снижению поражения растений болезнями. Препарат цианобактерий полностью предотвращал поражение растений килой, снижал почти в 2 раза заболевание растений слизистым бактериозом и почти в 3 раза — черной ножкой, способствовал улучшению минерального питания, что обеспечивало существенное (на 37,4 т/га) повышение продуктивности капусты белокочанной.

22.9. УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ ПРИ РАЗНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Разнообразие форм техногенного и аграрного воздействий, увеличивающиеся масштабы и объемы антропогенной нагрузки, наличие многочисленных негативных изменений в почвах, свойства, режимы и функции которых стали отличаться от аналогичных показателей реликтовых или эталонных почв, послужили основанием говорить о патологии почвы. Не менее справедливым будет утверждение о патологическом состоянии большинства современных агроэкосистем, основные компоненты которых подвержены той или иной форме антропогенного воздействия и находятся в конечных зонах устойчивости, граничащих с потерей этого качества. Подобное состояние агроэкосистемы напрямую связано со стратегическими и

тактическими издержками, которые характерны для аграрной деятельности человека и проявляются в характере землепользования и культивирования агроэкосистемы. К настоящему времени в науке и практике сформировались две противоположные концепции использования агроэкосистем и управления ими, базирующиеся на традиционной и биологической системах земледелия.

Использование традиционной системы земледелия с широким применением агрохимикатов — обязательное условие поддержания высокой продуктивности агроэкосистемы, что компенсирует возможные экологические издержки. В рамках этой концепции приоритетными являются агрономический и экономический критерии. В первом случае рассматривается величина прибавки урожая основной продукции сельскохозяйственных культур, а во втором — окупаемость материальных и финансовых затрат получаемой продукцией.

Считается, что интенсификация традиционных систем земледелия не только не является причиной деградации компонентов агроэкосистемы, но и обеспечивает более высокий уровень их стабильности, предотвращение снижения природного плодородия почв. Ущерб плодородию почвы и окружающей среде, причиняемый несбалансированным применением избыточных доз пестицидов, удобрений и мелиорантов, использованием тяжелой техники в районах с повышенным увлажнением, нарушениями зональных технологий возделывания культур и мелиорации почв, характерен для нерационального или экстремального земледелия, в котором интенсивность упрощенно понимается как концентрация ресурсов в расчете на единицу площади без учета степени и качества их использования. В действительности в интенсивном земледелии повышение урожайности культур обеспечивается благодаря эффективному использованию средств химизации, биологических способов защиты растений, мелиоративных приемов, внедрению прогрессивных технологий, учитывающих зональную почвенно-экологическую специфику, что в конечном счете способствует повышению плодородия почв и охране агроланд-

шафтов от загрязнения и деградации. Хотя эти положения весьма логичны и подтверждены экспериментально, закономерен вопрос, почему в странах с интенсивно развитым аграрным сектором и высоким уровнем энергонасыщенности и технологичности сельскохозяйственных операций, базирующихся на последних научных достижениях, экологическая ситуация остается достаточно напряженной, что дает повод усомниться в безопасности традиционных систем земледелия и осознать необходимость разработки альтернативных производственных систем, из которых наиболее известна биологическая система земледелия.

На первых этапах развития такой системы земледелия приоритетным направлением было получение высококачественной растениеводческой продукции главным образом благодаря отказу от использования инсектицидов и применению биологических и агрономических способов защиты растений. В последние годы биологическую систему земледелия рассматривают в более широком плане — как составную часть концепции экологически чистой окружающей среды, расширяя тем самым круг ограничений на применение агрохимикатов, включая и синтетические удобрения. Введение элементов биологического земледелия, как правило, приводит к снижению экономических показателей производства, росту энергозатрат на получение единицы продукции, увеличению объема работ и их усложнению по сравнению с традиционной системой. Согласно разным оценкам в результате отказа от минеральных удобрений в биологическом земледелии недополучают 40 % продукции, а затраты труда возрастают на 25...30 %. Однако реальное внедрение идей биологического земледелия в практику, несмотря на всю их привлекательность, сдерживается не столько проблемами экономического характера, сколько отсутствием надежной теории, объясняющей механизмы функционирования агроэкосистемы и пределы ее устойчивости в условиях «биологизации» сельскохозяйственных технологий, недостаточным числом факторов, подтверждающих более высокое качество продукции,

получаемой при биологической системе земледелия, по сравнению с традиционной, а также слабостью доводов в пользу более высокой вредности химических элементов, содержащихся в синтетических удобрениях, по сравнению с природными соединениями. Например, согласно принципам биологического земледелия азот вносится в почву в виде органических удобрений, которые представлены в основном экскрементами животных, содержащими большое количество мочевины. В то же время в биологическом земледелии не рекомендуется использовать мочевину, получаемую синтетически. Кроме того, сокращение объемов производства растениеводческой продукции в биологическом земледелии приходится компенсировать увеличением посевных площадей в ущерб естественным экосистемам. Поэтому в действительности при традиционной системе земледелия степень аграрной нагрузки на единицу площади угодий может быть даже ниже, чем при биологической. Серьезным недостатком является также присущее биологической системе земледелия отрицательное сальдо в балансе фосфора и калия, что негативно сказывается на питательном режиме почвы.

Учитывая преимущества и недостатки этих двух противоположных концепций, многовариантность форм антропогенного давления на агроэкосистемы и стремление интенсифицировать все стадии производства сельскохозяйственной продукции, а также принимая во внимание значительное ухудшение качества окружающей среды, следует признать необходимой разработку новой системы земледелия, эффективность которой соответствовала бы более широкому спектру критериев.

Разрабатываемые мероприятия должны характеризоваться не только агрономической и экономической эффективностью, но и технологической осуществимостью, экологической допустимостью и энергетической целесообразностью, обеспечивать сбережение и воспроизводство природных ресурсов. Естественно, что в каждом конкретном случае эта система критериев может быть расширена путем включения таких показателей, как физиологическая эф-

фективность и качество продукции, или, наоборот, сокращена. Хотя с помощью приведенных критериев можно получить более полную информацию о функционировании агроэкосистемы, использование их в едином комплексе сопряжено с преодолением ряда объективных трудностей. Во-первых, функциональные решения на основе одних критериев могут не совпадать или даже противоречить полученным на основании других. Во-вторых, ряд критериев (ресурсный, экологический, технологический, качество продукции) достаточно сложно формализовать и качественно оценить из-за многообразия параметров, характеризующих эти свойства, и полифункциональности действия природных и антропогенных факторов на компоненты агроэкосистемы. Так, максимальная эффективность агроэкосистемы по одному из предложенных критериев вовсе не означает отсутствия каких-либо нежелательных моментов в ее функционировании.

Например, получение максимального урожая с помощью увеличения доз минеральных удобрений и других средств химизации сопровождается нежелательным нарушением в состоянии окружающей среды. Наибольший экономический эффект обеспечивают, как правило, низкие и умеренные дозы минеральных удобрений, а окупаемость прибавки урожая высоких доз резко снижается.

Осуществление противоэрозионных мер является средством сбережения ресурсов агроэкосистемы и оптимизации качества окружающей среды, однако достижение минимальной нормы допустимого смыва практически нереализуемо из-за резкого возрастания текущих и капитальных затрат, которые, например, в условиях ЦЧР составляют соответственно 23 млн и 2,3 млрд руб., если планируемый уровень составляет 1 т/га. Иными словами, обеспечение экологической чистоты агроландшафтов не должно выходить за рамки разумных технологических решений и экономических затрат.

Следовательно, современное управление устойчивостью агроэкосистемы и использование для этого практических средств должны предусматривать достижение разумного компромисса между

количеством продукции, ее качеством, масштабами затрачиваемых природных и технических ресурсов и нарушениями в окружающей среде. Эти параметры в своей совокупности характеризуют новый тип современного земледелия — адаптивный, под которым понимают экологическую дифференциацию агротехнологий, направленную на достижение высокой степени соответствия аграрных форм деятельности природным механизмам саморегуляции экосистем путем оптимизации или компенсации внешних и внутренних факторов и свойств, лимитирующих развитие продуцентов агроэкосистемы. В отличие от альтернативного земледелия, которое предполагает приоритет какого-либо одного критерия, адаптивно-компромиссное направлено на достижение рациональной сбалансированности критериев и представляет собой промежуточную форму между биологическим и традиционными типами земледелия. Для адаптивно-компромиссного земледелия характерно смещение акцентов в стратегии оптимизации минерального питания растений. При этом предусматривается создание условий и осуществление различных типов регуляции режима минерального питания, обеспечивающих максимальное включение питательных элементов в продукционный процесс и адаптацию динамики их поступления к динамике реальных потребностей в них растений. Реализация этой стратегической задачи должна обеспечивать максимизацию урожая, повышение качества продукции или сохранение оптимального уровня этих показателей, сокращение удельных затрат питательных веществ из удобрений и из почвы на формирование единицы урожая и минимальную нагрузку на окружающую среду.

При формализации критериев оценки функционирования агроэкосистемы в целом или отдельных ее компонентов и их слагаемых используют разные подходы и параметры, что затрудняет их унификацию и количественную воспроизводимость. Основным способом оценки происходящих в агроэкосистеме изменений является сравнение параметров, характеризующих состояние ее слагаемых, с эталонными вариантами. Создается соответ-

ствующая стандартная шкала, по которой отмечается разница между состоянием среды при воздействии какого-либо фактора и без его воздействия. Однако такой подход не совсем корректен, поскольку не отражает исходных различий, характерных для природной и сельскохозяйственной экосистемы, а также динамику разнообразных форм человеческой деятельности и реакции на них агроэкосистем. Поэтому для оценки функционирования агроэкосистемы используют ряд специальных критериев.

В качестве критериев оценки влияния сельскохозяйственной деятельности на агроэкосистемы предложено использовать показатель экологичности земледелия ($K_{э.з}$), для расчета которого служат следующие характеристики: урожай культур (Y) и их количество (n), коэффициент гумификации растительных остатков (K_r), масса вносимых органических удобрений (M^0) и коэффициент их гумификации (K^0), масса минерализации гумуса и количество пожнивных остатков ($M_{м.п}$), масса потерь гумусовых веществ за счет эрозии ($M_{э.в}$), масса расхода гумуса на формирование урожая ($M_{г.у}$), коэффициенты, выражающие повторяемость культуры за ротацию севооборота (K_p) и долю данной культуры в севообороте (K_d). При использовании этих параметров в модели

$$K_{э.з} = \sum_{i=1}^n \frac{(YK_r + M_0K_0)K_dK_p}{M_{м.п} + M_{э.в} + M_{г.у}}$$

было показано, что в результате эрозии и насыщенности севооборотов техническими культурами происходит активный расход гумуса, а низкое значение $K_{э.з}$ (0,3...0,4) свидетельствует о недостаточной экологичности используемых систем земледелия. В качестве индикаторных показателей экологичного состояния экосистем и устойчивости почв к стрессовому воздействию загрязнителей наряду с содержанием органического вещества часто используют такие величины, как размеры почвенных частиц и рН почвенного раствора, с помощью которых оценивают стрессовую емкость почвы. Интегральную характеристику реакции растений на минеральные

удобрения дают показатели их агрономической и физиологической эффективности ($AЭ$ и $ФЭ$), а также эффективности усвоения ($ЭУ$) питательного вещества, которую чаще называют коэффициентом использования действующего вещества удобрения. В первом случае определяют затраты питательного вещества удобрения на формирование прибавки урожая основной продукции (I), во втором — затраты дополнительного использования элемента питания в удобренном варианте на формирование урожая (II); эффективность усвоения питательных веществ растениями характеризуют отношением прибавки общего выноса элементов, получаемой от применяемого удобрения, к его дозе (III):

$AЭ = \frac{Y_y - Y_{б.у}}{D_y}$, кг основной продукции/кг д. в. (I);

$ФЭ = \frac{Y_y - Y_{б.у}}{B_y - B_{б.у}}$, кг основной продукции/кг общего выноса (II);

$$ЭУ = \frac{B_y - B_{б.у}}{D_y} 100\% \text{ (III).}$$

Для характеристики пределов экологического насыщения агроэкосистемы биогенными элементами, а также определения их миграционно-аккумуляционной способности целесообразно определять состояние баланса макро- и микроэлементов в ландшафтно-геохимических структурах. В пределах агроэкосистемы рассчитывают показатель интенсивности баланса макроэлементов, который представляет собой величину возмещения выноса элементов растениями дозой удобрения. Результаты исследований показывают, что снижение этой величины до 60 % свидетельствует об истощении актуального плодородия почвы.

22.10. УСЛОВИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ

Конструирование агроэкосистем в чистом виде с соблюдением всех заданных параметров и принципов осуще-

ствимо лишь при сельскохозяйственном освоении новых территорий, что при современных масштабах вовлеченности земель в аграрное производство не имеет существенного практического значения. Примером могут служить распашка целинных почв, окультуривание осушенных болотных, опустыненных, засоленных и других почв. В используемых же почвах реализация программы конструирования агроэкосистемы подразумевает частичную или коренную реконструкцию уже сложившихся природно-хозяйственных единиц. В первом случае речь идет об использовании отдельных организационно-хозяйственных или технологических мер, направленных на устранение или компенсацию лимитирующих нормальных функционирование агроэкосистемы факторов либо исправление свойств каких-либо ее элементов с целью повышения их адаптационных возможностей. Во втором случае предусматривается одновременное воздействие на все главные звенья агроэкосистемы, благодаря чему видоизменяются основные ее функции. Предотвращение негативных процессов, таких, как эрозия, дефляция, дегумификация, подкисление, засоление, аридизация, переувлажнение, загрязнение, способствует повышению устойчивости и продуктивности агроэкосистемы.

Использование системы критериев, позволяющих оценить разные функции агроэкосистемы, а также комплекса показателей-индикаторов, дающих возможность количественно интерпретировать ее изменчивость под действием антропогенных факторов, способствует накоплению базовой информации для конструирования высокопродуктивных и устойчивых агроэкосистем.

На первом этапе (уровне) повышения устойчивости реконструируемой агроэкосистемы осуществляют глобальный, региональный и локальный почвенный мониторинг, включающий системный контроль за физической и биологической деградацией почвы, ее загрязнением и питательным режимом, начиная от источников воздействия и кончая реакцией отдельных ее компонентов, а также за общим состоянием окружающей среды. На втором этапе

осуществляют рекультивацию нарушенных засоленных и загрязненных почв, окультуривание агрохимически разбалансированных почв, преобразование рельефа и другие мероприятия. Одновременно видоизменяют структуру севооборотов, системы удобрения и защиты культур от вредителей и болезней, используют более мягкие агротехнические операции.

Ограничение эрозионных процессов в реконструируемых агроэкосистемах с достаточной долей эффективности можно осуществить лишь на ландшафтно-биосферном уровне, включающем водосборные бассейны в целом, путем создания эрозионно-устойчивых ландшафтов на основе комплексного учета показателей гидрологического режима почв, морфологии, морфометрии, генезиса эрозионного рельефа, пространственно-временной изменчивости противоэрозионной стойкости почв, включения антропогенного фактора в развитие ландшафтов на разных стадиях их хозяйственного освоения. Основными гидротехническими, агротехническими, технологическими и биологическими мероприятиями по созданию эрозионно-устойчивых ландшафтов являются регулирование поверхностного стока, планировка поверхности, посев многолетних трав и промежуточных культур, реплантация смытых почв, создание контурных буферных полос, сохранение на поверхности почвы растительных остатков и оптимизация противодефляционной способности растений.

Примером реконструирования элементов агроэкосистемы могут быть выравнивание плодородия и приостановка эрозии почв склонов методом реплантации. В основе его лежит восстановление почвенного профиля с помощью отвалов полнопрофильных почв, образующихся на месте строительства, намывных делювиальных почв, илистых отложений.

Экологически чистыми источниками пополнения органического вещества в почвах являются растительные остатки, побочная продукция сельскохозяйственных культур, сидераты, внесение которых одновременно обеспечивает повышение рН и улучшение водно-фи-

зических свойств. Использование в качестве сидератов бобовых культур служит эффективным способом создания благоприятной сбалансированной структуры микробных сообществ, обеспечивает повышение запасов легкоразлагаемых углеродсодержащих соединений и минеральных форм азота.

Повышение доступности остаточных фосфатов, аккумулированных в почве вследствие систематического внесения фосфорных удобрений, достигается с помощью мелиоративных приемов, обеспечивающих ослабление адсорбции фосфатов и изменение соотношения фракций Са—Р и Fe—Р, поддержание сбалансированного соотношения в почвенном растворе N/P²⁰⁵, близкого к 3:10; внесения органических удобрений, которые активируют биохимические процессы мобилизации фосфатов, а также возделывания культур, биологические особенности которых позволяют контролировать усвоение фосфатов из соединений Са—Р, Fe—Р, Al—Р. В частности, гречиха и горох адаптированы к Al—Р, люпин и ячмень — к Al—Р и Са—Р соединениям, овес — к Al—Р и Fe—Р, высокой способностью к усвоению остаточных фосфатов обладают также люцерна и эспарцет.

Очистку почв, загрязненных тяжелыми металлами, можно производить двумя способами: воздействуя на их подвижность в почве (например, путем известкования) либо на потребность растений в этих элементах (использование закономерностей антагонизма—синергизма ионов, подбор культур — накопителей тяжелых металлов). Создаваемые агроценозы должны не только быть высокопродуктивными, но и не вызывать нарушений в местных экосистемах, поэтому на третьем этапе проводятся работы, направленные на сохранение естественной растительности в качестве буферных полос и зон, а также пропорций между конструируемой агроэкосистемой и природной.

За миллионы лет эволюции в процессе естественного отбора сформировались виды и их сообщества, обладающие высокой устойчивостью. При замене естественной биоты культурными видами последние, как правило, утрачивают способность противостоять воз-

мущениям внешней среды и не обеспечивают полноту «замыкания» круговоротов веществ при отсутствии возмущений. Сохранение разнообразия живых организмов, возникшего в результате длительной эволюции, необходимо не столько для сбережения генофонда. Важную роль играет также способность естественных сообществ обеспечивать устойчивость окружающей среды. Именно поэтому сохранение разнообразия компонентов биосферы является необходимым условием достижения экологической безопасности и устойчивости социально-экономического развития.

Современное состояние биосферы обратимо. Она может вернуться в прежнее устойчивое состояние, если антропогенная нагрузка станет на порядок меньше. Другого способа достижения устойчивого состояния биосферы не существует. При сохранении же антропогенной нагрузки на прежнем уровне или при ее увеличении устойчивость окружающей среды будет неуклонно снижаться.

С увеличением антропогенных нагрузок масштабы изменения экосистем расширяются. Стабильное же состояние окружающей природной среды может поддерживаться до тех пор, пока остающаяся не подверженной воздействию часть биоты сохраняет способность элиминировать антропогенные нагрузки, т. е. до тех пор, пока порог устойчивости естественной биоты не будет превышен в глобальном масштабе. Наблюдаемые в настоящее время изменения природы однозначно указывают на возможность такого превышения.

В заключение хотелось бы привести один из примеров успешного решения рассматриваемых проблем. В газете «Российская земля» (№ 21, 1997 г.) в рубрике «Человек и природа» был опубликован очерк Ю. Кашина «И птице, и лягушке, и серне оставлен уголок», в котором рассматривается опыт проведения большого комплекса работ по совершенствованию сельской местности в Германии. Поскольку материалы этого очерка имеют прямое отношение к рассмотренным в данной главе вопросам, уместно процитировать некоторые его

места. Улучшение сельской местности «... это очень емкое понятие, включающее в себя мелиорацию, закладку живых изгородей, плодовых насаждений, строительство дорог, проведение различных мероприятий по охране животного мира. В последние годы к ним добавилось устройство так называемых биотопов, или попросту небольших природных заповедников для сохранения всего ползающего, прыгающего, бегающего и летающего. Работа выполнена грандиозная в масштабах всей страны, и она еще продолжается. Делали ее, естественно, конкретные люди, сами землепользователи сельскохозяйственных земель, под руководством опытных, специально обученных для этих целей специалистов.

Каждый маленький район за истекшие десятилетия настолько преобразился, расцвел и похорошел, что не будь старых фотографий в изменения трудно было бы поверить. Если с высоты птичьего полета открываются прекрасные картины больших, преобразенных людьми участков, но невозможно заметить каких-то подробностей, то, спустившись на землю, видишь, какие поистине грандиозные конкретные дела за этим стоят. И более всего меня поразило не только обилие сельских дорог, но и их совершенно немислимая для нас, россиян, конфигурация и рациональность устройства. Ну нет ни одной колеи, чтоб вела прямо через ниву, обязательно по краям, копируя поле. Сельская дорога в Германии — это творчество с завитушками, серпантинами, лишь бы не трогать посевы, леса, рощи.

Возле озера Аммерзее, в баварской общине Уттинг я стал свидетелем этого преобразования природы в местном масштабе. Рассказывает Август Эрнст, руководитель программы: «Работы ведутся уже длительное время на площади 1250 гектаров. Построено 38 километров внутрихозяйственных дорог, посажено свыше 9 тысяч деревьев и кустарников, сооружены десятки новых водоемов для дикой водоплавающей птицы». Есть тут и заболоченные места, и за них тоже взялись. Но осушать не стали. Прорыли змеевидные каналы, устроили красивые гитарообразные

пруды, посадили по берегам ивы, а между ними березы, дубки и различные кустарники и все это обнесли металлической сеткой для защиты от серн. А чтоб они, выйдя из лесочка, не искали обходные пути вокруг человеческого творения (обходить-то надо метров пятьсот, разве это расстояние?), сделали для животных проход прямо через этот «биотоп». Что-то вроде коридора. И бегут через него серны, скачут зайцы, а рядом нашли прибежище пролетающие мимо гуси и утки. А для птиц размерами поменьше — лесных воробьев, синиц, дроздов — устроен другой дом, огромный бург из сухостойных сучьев, на нижнем этаже которого видели уже и зайцев. Возникла вся эта колония между культурным полем и лесом, на топком прежде месте площадью 15 гектаров. Денег это стоило больших, но богатая Бавария может себе позволить расходы. Инвестиции в природу, считают философски немцы, это вложение в будущее. С ними трудно не согласиться.

Человек все может. Разрушить среду обитания, но и по-хозяйски пользоваться ею, не нанося вреда. Более того, придать ей новое качество, новые экологические и эстетические черты. А это задача действительно будущего».

Несомненно, что, собираясь решать задачи оптимизации и повышения устойчивости агроландшафтов, необходимо настраиваться на серьезную кропотливую системную работу.

Видный отечественный эколог академик С. С. Шварц (1976) сформулировал пять основных требований, которым должен соответствовать «хороший» биогеоценоз.

1. Продукция (биомасса) всех основных звеньев трофических (пищевых) цепей высокая. Нерезко выражено характерное для антропогенных ландшафтов явное преобладание фитомассы над зоомассой. В итоге обеспечивается синтез больших количеств кислорода и продуктов животного и растительного происхождения.

2. Высокой продукции соответствует высокая продуктивность. Производство «продуктивность х биомасса» максимально. В результате создаются предпосылки для быстрой компенса-

ции возможных потерь биомассы на отдельных трофических уровнях из-за случайных или закономерных внешних воздействий. Это обстоятельство играет особенно важную роль. Высокая продукция не гарантирует высшую компенсационную активность. Теоретические разработки свидетельствуют о том, что богатейшие тропические леса даже в течение нескольких лет не могли бы выдержать ту степень промысловой нагрузки, которую в течение многих веков выдерживает наша скромная северная тайга.

3. Структура системы в целом и разнородность отдельных трофических уровней обеспечивают высокую стабильность (гомеостаз) биогеоценоза в широком диапазоне внешних условий. Высшее совершенство гомеостатических реакций характерно не только для популяций доминирующих видов животных и растений, но и для экосистемы в целом. Поддержание биоценоза в состоянии динамического равновесия обеспечивает состояние гомеостаза абиотических составляющих биогеоценоза (в том числе гидрологического режима территории, газового состава атмосферы и т.д.). Экосистема обладает наивысшей степенью «помехоустойчивости».

4. Обмен вещества и энергии протекает с большой скоростью. Процессы редукции (распада) обеспечивают вовлечение в биогеоценоз круговорот всей продуцируемой биоценозом биомассы в течение немногих годовых циклов. Таким образом обеспечивается максимальная скорость биологической самоочистки системы.

5. Высшая степень продуктивности и стабильности экосистемы сопровождается высшей «резервной активностью» — способностью к быстрой перестройке структуры сообщества и к быстрым эволюционным преобразованиям популяций доминирующих видов при изменении внешней среды. Это обеспечивает поддержание биогеоценоза в оптимальном состоянии при изменении условий среды.

Только практическая реализация этих требований позволяет достичь цели оптимизации.

22.11. СБАЛАНСИРОВАННОСТЬ ПРОЦЕССОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ГУМИФИКАЦИИ — ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕДОСФЕРЫ

Разрушение и создание органического вещества составляют сущность почвообразования. Из этого общеизвестного положения вытекает принципиально важное следствие — соотношение между процессами минерализации и гумификации обуславливает экологическое равновесие в почве. Сбалансированность названных процессов отражает суть экологической устойчивости почвенного блока, а следовательно, и агроэкосистемы в целом. Определение количественных параметров, соответствующих состоянию экологического равновесия в почве, раскрытие его природы и разработка на этой основе методов целенаправленного воспроизводства почвенного плодородия — важная научно-практическая задача, требующая комплексных решений, в том числе с учетом и агроэкологических аспектов проблемы.

Достаточно значимым количественным показателем интенсивности процессов минерализации органического вещества почвы может служить отчуждение (вынос) азота с урожаем сельскохозяйственных культур. Процессы гумусообразования, наоборот, связаны непосредственно с накоплением азота в почве, поэтому величину аккумуляции его в приросте запасов гумуса можно принять за объективный показатель гумификации. Исходя из данных предположений, оценку сбалансированности процессов гумификации и минерализации в почвенном блоке агроэкосистемы реально проводить, основываясь на определении агроэкологического параметра — коэффициента биологической утилизации азота удобрений ($K^{N_{ут}}$). Названный показатель подсчитывают как сумму коэффициентов усвоения возделываемыми растениями элемента из удобрения ($K^{N_{усв}}$) и аккумуляции его в приросте гумуса за ротацию севооборота по отношению к количеству, определяемому перед закладкой опыта ($K^{N_{ак}}$).

Отношение коэффициента усвоения азота удобрений к коэффициенту его аккумуляции ($K^{N_{\text{усв}}}/K^{N_{\text{ак}}}$) отражает степень сбалансированности в почве процессов минерализации и гумификации, а значит, и направленность процесса почвообразования за ротацию севооборота. Очевидно, что это отношение наряду с другими показателями может служить объективным экологическим критерием оценки устойчивости высокопродуктивной агроэкосистемы. Степень устойчивости почвенного блока агроэкосистемы определяют по формуле

$$\Theta_{\text{уст}} = K^{N_{\text{усв}}}/K^{N_{\text{ак}}},$$

где $\Theta_{\text{уст}}$ — интегральный показатель экологической устойчивости почвенного блока агроэкосистемы; $K^{N_{\text{усв}}}$ — коэффициент усвоения азота культурами за ротацию севооборота, %; $K^{N_{\text{ак}}}$ — коэффициент аккумуляции азота в приросте гумуса за ротацию севооборота, %.

Величина биологической утилизации азота удобрений напрямую связана с особенностями их влияния на эффективное и потенциальное плодородие почвы, а также на урожайность и вынос азота возделываемыми на полях севооборота культурами. Многолетними полевыми опытами установлено, что чем больше азота удобрений утилизируют растения за ротацию, тем меньше его аккумулируется в ноогумусе и тем выше доля коэффициента усвоения ($K^{N_{\text{усв}}}$) в коэффициенте биоутилизации ($K^{N_{\text{ут}}}$). Это особенно наглядно прослеживается, например, при заделке в почву зеленого удобрения, богатого легкоминерализующимися веществами (белки, углеводы и т.д.). Обратная зависимость наблюдается при запашке в почву инертного органического вещества — соломы, азот которой в гумусовых веществах минерализуется медленно. Поэтому в коэффициенте биоутилизации азота соломы основная доля приходится на коэффициент его аккумуляции в приросте гумуса за ротацию севооборота.

Коэффициент биологической утилизации азота минеральных удобрений полностью определяется его выносом с урожаем возделываемых в севообороте

культур. Систематическое внесение только технического азота ведет к ускорению антиэкологического процесса дегумификации почвы. Применение органических азотных удобрений в отличие от минеральных наряду с улучшением азотного питания культурных растений способствует активизации в почве процессов гумификации, что находит отражение в структуре коэффициента биоутилизации.

Результаты проведенных исследований показывают, что органические удобрения, за исключением сидератов, значительно (на 25...65 %) превосходят минеральные по величине коэффициента биоутилизации азота, что объясняется их положительным влиянием на процесс новообразования гумуса. При совместном применении органических и минеральных удобрений (половинными нормами по НРК) $K^{N_{\text{ут}}}$ на 19...26 % ниже, чем при внесении только органических удобрений. Резко снижается коэффициент биоутилизации азота удобрений (органических — вдвое, минеральных — в 1,3 раза) и при увеличении насыщенности севооборота минеральными туками с 40 до 120 кг/га.

Как интегральный количественный показатель, характеризующий влияние внесенных удобрений на процессы минерализации и гумификации, $K^{N_{\text{ут}}}$ отражает изменения как эффективного, так и потенциального плодородия почвы. Чем выше биоутилизация на фоне оптимального сочетания процессов гумификации и минерализации, тем рациональнее применение азотсодержащих удобрений и меньше химическая нагрузка на окружающую среду.

Однако для объективной агроэкологической оценки эффективности применения азотсодержащих удобрений важно знать не только численное значение $K^{N_{\text{ут}}}$, но и соотношение между $K^{N_{\text{усв}}}$ и $K^{N_{\text{ак}}}$ что особенно существенно для установления изменений устойчивости педосферы. Отношение $K^{N_{\text{усв}}}:K^{N_{\text{ак}}}$ в значительной степени отражает природу взаимосвязи между процессами минерализации и гумификации. Оптимизация этих диаметрально противоположных процессов — актуальная про-

блема формирования экологических систем земледелия, успешное решение которой позволяет контролировать и целенаправленно воздействовать на экологическое равновесие в почвенном балансе агроэкосистемы. Именно сбалансированностью процессов минерализации и гумификации обуславливается, с одной стороны, уровень продуктивности возделываемых культур, а с другой — масштабы воспроизводства почвенного плодородия. Разумеется, что количественный контроль за этими постоянно протекающими в почве процессами достаточно значим в экологическом отношении. Например, в орошаемых темно-каштановых почвах Поволжья близкое

к оптимальному отношению $K^{N_{\text{усв}}} : K^{N_{\text{ак}}}$, равное 2...3, в целом за ротацию пятипольного полевого севооборота поддерживают путем внесения 42 т/га навоза и выращивания люцерны. В этом случае довольно высокое потребление азота на создание растениями урожая сочетается с расширенным воспроизводством гумуса.

Более низкое численное значение отношения $K^{N_{\text{усв}}} : K^{N_{\text{ак}}}$ характерно для инертного органического вещества, в частности соломы, азот которой слабо усваивается культурами и большей частью закрепляется в гумусе. Противоположная картина наблюдается при заделке в почву минеральных удобрений и сидератов, которые влияют прежде всего на процессы минерализации.

Результаты рассмотренных выше исследований позволяют также заключить, что для орошаемых темно-каштановых почв Поволжья варьирование численного значения рассматриваемо-

го отношения в пределах 0,5... 15 вполне приемлемо. Снижение его до значения 0,5 соответствует существенному уменьшению продуцирующей способности растений. Повышение же его до значений >15 нецелесообразно по экологическим причинам, поскольку в этом случае используемый показатель отражает значительное снижение воспроизводства гумуса, что в конечном итоге неминуемо ведет к опустыниванию агроэкосистемы.

Таким образом, показатель биологической Утилизации азота удобрений может служить важным агроэкологическим критерием устойчивости почвенного блока, позволяющим судить и об устойчивости всей агроэкосистемы. Критерий Эуст дает возможность количественно оценить степень сбалансированности в почве диаметрально противоположных процессов — минерализации и гумификации, что исключительно важно для моделирования процесса оптимизации эффективного и потенциального плодородия. Определение оптимальных значений коэффициентов биоутилизации ($K^{N_{\text{ут}}}$) и устойчивости (Эуст) вносимого азота удобрений за ротацию в севооборотах должно входить в программу агроэкологического мониторинга в длительных стационарных опытах-полигонах, заложенных в различных почвенно-климатических зонах. Следует отметить, что отношение $K^{N_{\text{усв}}} : K^{N_{\text{ак}}}$ за ротацию севооборота можно использовать в качестве критерия влияния на экологическую устойчивость педосферы (почвы) и агроэкосистемы не только удобрений, но и различных агротехнических приемов.

Глава 23

ПРОИЗВОДСТВО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ

23.1. ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ

Понятие «экологически безопасная продукция». Производство экологически безопасной продукции — ключевая

задача при экологизации сельскохозяйственной деятельности. Понятие «экологически безопасная сельскохозяйственная продукция» основано на праве людей на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой. Под эко-

логически безопасной сельскохозяйственной продукцией понимают такую продукцию, которая в течение принятого для различных ее видов «жизненного цикла» (производство — переработка — потребление) соответствует установленным органолептическим, общегигиеническим, технологическим и токсикологическим нормативам и не оказывает негативного влияния на здоровье человека, животных и состояние окружающей среды.

Острые проблемы современности — проблемы недоедания и голода — усугубляются болезнями и смертностью в результате употребления некачественных продуктов, а ведь на Земле достаточно ресурсов, разработаны решения и технологии, которые дают возможность навсегда покончить с этими явлениями. Не хватает, к сожалению, лишь обязательств и ответственности.

Неблагоприятное действие ксенобиотиков связано с миграцией химических веществ по одной или нескольким экологическим цепям:

ксенобиотики	— воздух — человек;
»	— вода — человек;
»	— пищевые продукты — человек;
»	— почва — вода — человек;
»	— почва — растение — человек;
»	— почва — растение — животное — человек и т. д.

Чем длиннее миграционный путь при подземных путях миграции, тем меньшую опасность для здоровья человека представляет ксенобиотик, так как при продвижении химических веществ по экологическим цепям они подвергаются деструкции и превращениям.

Считается, что из ядов, регулярно попадающих в организм человека, около 70 % поступает с пищей, 20 % — из воздуха и 10 % — с водой.

В России примерно 30...40 % продукции загрязнено нежелательными ингредиентами. Загрязнено также до 70 % питьевой воды (т. е. примерно семь человек из десяти пьют загрязненную воду). Наряду с такими источниками загрязнения, как энергетика (особенно ТЭС), промышленность, транспорт, есть «крити-

ческие точки», вызывающие загрязнение продукции и окружающей среды, и в агро-сфере. Проблему получения качественного продовольствия в условиях негативного антропогенного воздействия на окружающую природную среду, в том числе и в процессе сельскохозяйственного производства, можно решить на основе экологизации сложившихся или вновь создаваемых систем ведения сельского хозяйства.

Загрязнение продукции растениеводства и животноводства различными вредными веществами обусловлено множеством взаимосвязанных, идущих с различной интенсивностью процессов в сопряженных средах и компонентах экосистем. При этом во многих регионах не только возрастает прямое действие химических веществ, но и усложняется проявление этих воздействий.

Оценка состояния агроэкосистем. Для получения экологически безопасной продукции необходимо иметь достоверные исходные данные об эколого-токсикологической обстановке в агроэкосистемах, особенно испытывающих пресс многолетнего интенсивного использования агрохимикатов (удобрения, пестициды, мелиоранты и др.). Работу следует начинать с оценки эколого-токсикологического состояния агроэкосистем, прежде всего — почвенного покрова. Стремление повысить продуктивность возделываемых культур и выращиваемых животных без надлежащего учета природоохранных требований привело к необоснованному увеличению объемов применения минеральных удобрений (преимущественно азотных), пестицидов и мелиорантов. Выбросы промышленных производств и транспорта, коммунальные отходы поставляют в естественные и искусственные экосистемы соединения полихлорированных бифенилов, серы, тяжелых металлов и т. д. Среди природных загрязнителей выделяют афло- и другие микотоксины.

Оценка сельскохозяйственной продукции. Для оценки и предотвращения негативного воздействия продуктов питания на здоровье человека и кормов на сельскохозяйственных животных оперируют такими понятиями, как предельно допустимая концентрация

(ПДК), допустимое остаточное количество (ДОК) или максимально допустимые уровни (МДУ) вещества в них. Эколого-токсикологический норматив, предельно допустимая концентрация — концентрация вещества в продукции (продуктах питания, кормах), которая в течение неограниченно продолжительного времени (при ежедневном воздействии) не вызывает отклонений в состоянии здоровья человека и животных. ПДК химических веществ в пищевых продуктах устанавливаются при этом с учетом допустимой суточной дозы (ДСД) или допустимого суточного поступления (ДСП), поскольку разнообразие рациона и его химического состава не позволяют нормировать допустимое содержание химического вещества в каждом пищевом продукте.

Пределы содержания загрязняющих веществ в пищевых продуктах и кормах устанавливают на основании результатов изучения токсичности препаратов для различных организмов. При содержании в продукции загрязняющих веществ в количествах, превышающих ПДК, ДОК или МДУ, такую продукцию в пищу или на корм использовать не разрешается.

При оценке степени токсичности элемента (агрохимиката) для растений учитывают концентрацию элемента. При этом не должно быть снижения продуктивности растений, накопления агрохимиката в растениях, кормах и пищевых продуктах выше ПДК.

Летальная концентрация вызывает гибель растений.

23.2. ВЕЩЕСТВА, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ И КОРМА

Тяжелые металлы. Наиболее опасными загрязняющими веществами признают тяжелые металлы: свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, цинк, никель и др. Примерно 90 % тяжелых металлов, поступающих в окружающую среду, аккумулируются почвами. Затем они мигрируют в природные воды, поглощаются растениями и поступают в пищевые цепи.

Свинец, ртуть, кадмий, мышьяк и цинк считаются основными загрязни-

телями главным образом потому, что техногенное их накопление в окружающей среде идет особенно высокими темпами. Данные элементы обладают большим сродством к физиологически важным органическим соединениям и способны подавлять наиболее значимые процессы метаболизма, тормозят рост и развитие. В сельскохозяйственном производстве это приводит к снижению продуктивности и ухудшению качества продукции.

Допустимое количество тяжелых металлов, которое человек может потреблять с продуктами питания без риска заболеть, колеблется в зависимости от вида металла: свинец — 3 мг, кадмий — 0,4...0,5, ртуть — 0,3 мг в неделю. Хотя эти уровни условны, тем не менее они служат основой для контроля содержания тяжелых металлов в продуктах питания.

В живых организмах тяжелые металлы играют двойную роль. В малых количествах они входят в состав биологически активных веществ, регулирующих нормальный ход процессов жизнедеятельности. Нарушение в результате техногенного загрязнения сложившихся эволюционно концентраций тяжелых металлов приводит к отрицательным и даже катастрофическим последствиям для живых организмов. Поступившие, например, в организм человека тяжелые металлы накапливаются преимущественно в печени и выводятся крайне медленно. Первоначально же они накапливаются главным образом в почвах. Продукция растениеводства, выращенная даже на слабозагрязненных почвах, способна вызвать кумулятивный эффект, обуславливая постепенное увеличение содержания тяжелых металлов в организме теплокровных (человек, животные).

Поступая в растения, тяжелые металлы распределяются в их органах и тканях весьма неравномерно. Следовательно, изучение особенностей аккумуляции тяжелых металлов в растениях может помочь ограничить их поступление в организм человека.

Зачастую корневые системы растений содержат больше цинка, чем надземные органы. В надземных органах цинк концентрируется преимущественно

но в старых листьях. Корни пшеницы отличаются более высоким содержанием свинца и кадмия по сравнению с листьями. Уровень накопления тяжелых металлов в репродуктивных органах растений значительно ниже, чем в вегетативных, и зависит от биологических особенностей культуры, физиологической роли элемента, его содержания в почве и доступности для растений.

Органы накопления ассимилятов (корнеплоды, клубни, плоды) содержат значительно меньше тяжелых металлов, чем вегетативная масса растений. Это можно считать положительным фактом, поскольку именно они составляют хозяйственно ценную часть основных овощных культур.

Механизмы поглощения, транспорта, метаболизма и распределения тяжелых металлов в органах и тканях тесно связаны с видовыми и сортовыми особенностями возделываемых культур, на них влияют экологические и антропогенные факторы. Знание закономерностей распределения тяжелых металлов в тканях и органах растений дает возможность выяснить механизмы их перераспределения и аккумуляции в процессе развития растений, разработать достоверные методы оценки качества урожая, грамотно сертифицировать продукцию.

Знание особенностей распределения тяжелых металлов в растениях представляет интерес для потребителя, поскольку позволяет рационально использовать продукцию в процессе технологической переработки (консервирование, сушка, квашение, соление, приготовление соков и пюре) и при употреблении в пищу в сыром виде.

Накопление и распределение тяжелых металлов в органах растения зависят прежде всего от вида, физиологической специализации и морфологических признаков отдельных органов (тип листьев, размер черешков и жилок, размер центрального цилиндра в корнеплодах).

Важно знать особенности распределения тяжелых металлов в овощных культурах.

В корнеплодах моркови содержание тяжелых металлов (кроме железа) убывает от кончика до головки. Для железа характерно высокое содержание в го-

ловке и равномерное распределение в остальной части корнеплода. В центральной части корнеплода содержится повышенное количество цинка и свинца, а в коре — повышенное количество меди, марганца, кадмия и железа (рис. 23.1).

Для нижней части корнеплода столовой свеклы характерно повышенное содержание всех элементов, кроме меди. Наименьшее содержание меди и железа отмечено в средней части корнеплода. В центральном цилиндре наблюдается повышенное количество цинка и свинца, а в коре — меди, марганца, кадмия и железа.

Минимальное количество кадмия, цинка и свинца находится в мякоти клубней картофеля. Повышенное количество железа характерно для периферийной части клубней. Медь распределена равномерно во всех частях клубня (рис. 23.2).

У плодов кабачков тяжелые металлы рассредоточены примерно одинаково по всей их длине, кроме зоны, примыкающей к плодоножке (примерно треть-четверть плода), в этой зоне содержание тяжелых металлов в 1,5...3 раза выше. Наибольшее количество тяжелых металлов находится в коже плода и в сердцевине (рис. 23.3).

Для тыквы характерно повышенное содержание тяжелых металлов в верхней части, примыкающей к плодоножке. Минимальное их количество находится в нижней части плодов (примерно в 1,5...4 раза меньше, чем в верхней).

Капуста отличается от других овощных культур и картофеля повышенным содержанием цинка и пониженным — кальция. Содержание всех элементов возрастает (примерно в 3...5 раз) от внешних листьев кочана к кочерыге.

Распределение свинца в капусте белокочанной имеет сортовую специфику (табл. 23.1).

23.1. Распределение свинца в кочане различных сортов капусты белокочанной, м/кг сухого вещества

Часть кочана	Сорт	
	Июньская	Номер первый
Кочерыга	1,50	0,64
Средние листья	0,60	0,40
Верхние листья	0,30	0,33

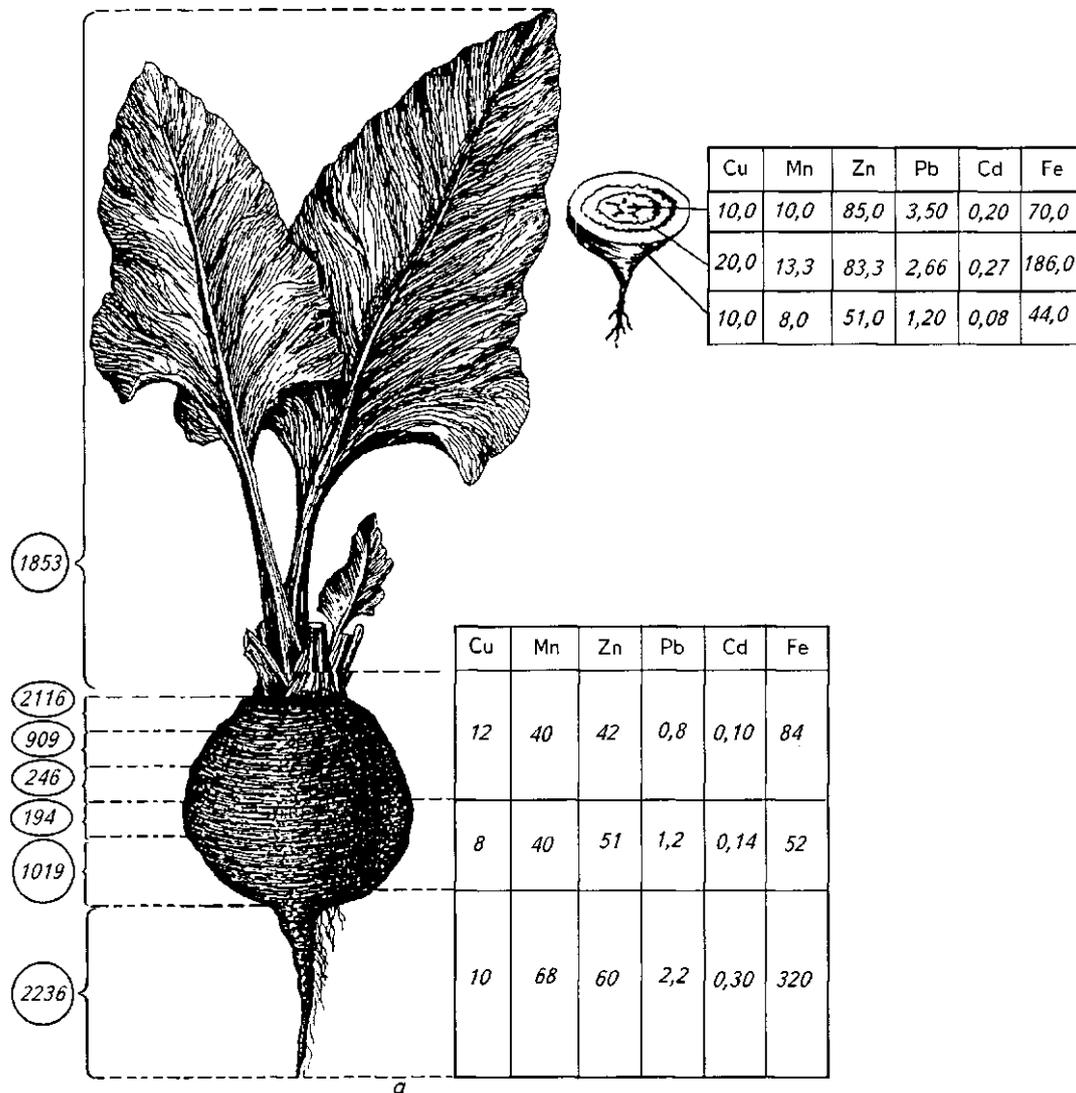


РИС. 23.1. Содержание в свекле столовой (а) и моркови столовой (б) тяжелых металлов

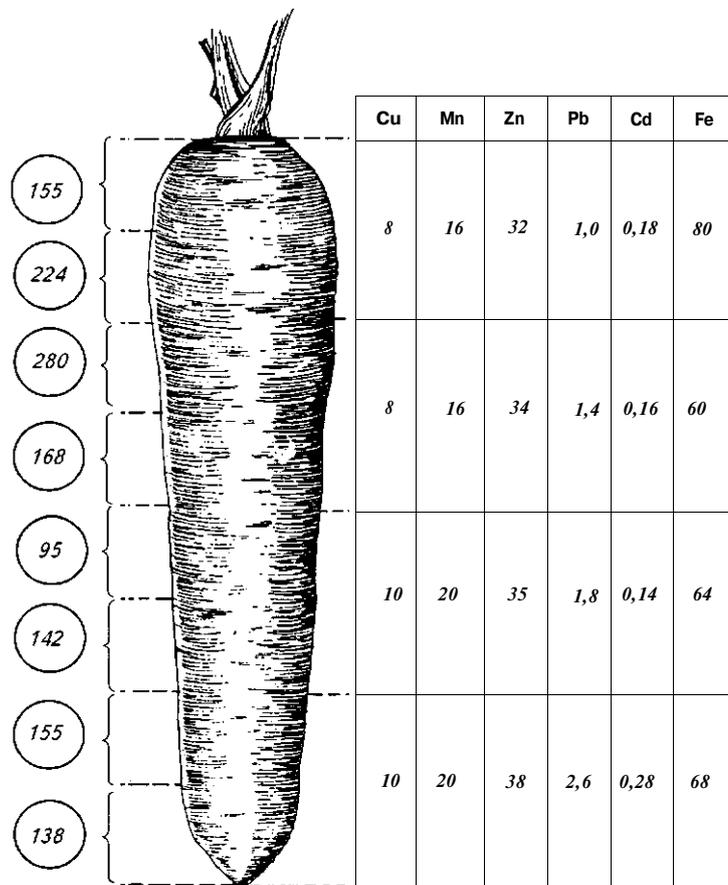
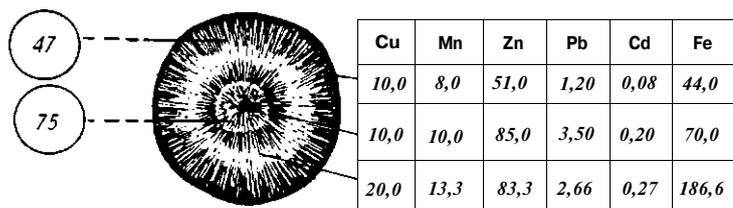
Несмотря на то что оба сорта ранние, у сорта Номер первый выявлена пониженная способность к аккумуляции свинца во всех частях кочана, кроме верхних листьев.

Наибольшее количество свинца в репродуктивных органах зерновых культур, гречихи и подсолнечника сосредоточено в зародыше зерновки, плода и семени (табл. 23.2). У пшеницы, гречихи и овса в эндосперме содержится большее количество этого элемента,

чем в оболочке, тогда как у ячменя — наоборот.

23.2. Распределение свинца в разных органах растений, мг/кг сухого вещества

Растение	Орган	Содержание свинца
Ячмень (зерновка)	Оболочка	1,35
	Эндосперм	0,50
	Зародыш	8,90
Пшеница (зерновка)	Оболочка	0,74
	Эндосперм	1,22
	Зародыш	7,69



(мг/кг сухого вещества) и нитратов — цифры в кружочках (NO₃, мг/кг сырой массы)

<i>Продолжение</i>			<i>Продолжение</i>		
Растение	Орган	Содержание свинца	Растение	Орган	Содержание свинца
Овес (зерновка)	Оболочка	3,85	Петрушка	Черешок	2,50
	Эндосперм	8,33		Лист	1,00
	Зародыш	63,33		Корень	0,50
Гречиха (зерновка)	Оболочка	0,94	Салат	Черешок	19,7
	Эндосперм	1,28		Лист	28,4
	Зародыш	5,56		Корень	37,4
Подсолнечник (зерновка)	Оболочка	0,06	Щавель	Черешок	37,5
	Эндосперм	0,06		Лист	28,0
	Зародыш	0,09		Черешок	18,4
Кориандр	Черешок	3,50	Эстрагон	Лист	7,0
	Лист	1,70		Луковица	13,8
				Лист	5,0

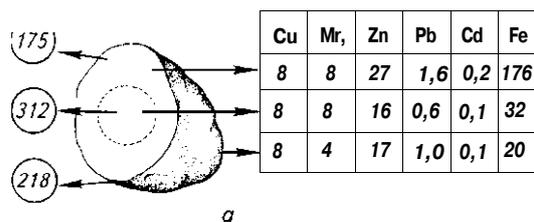
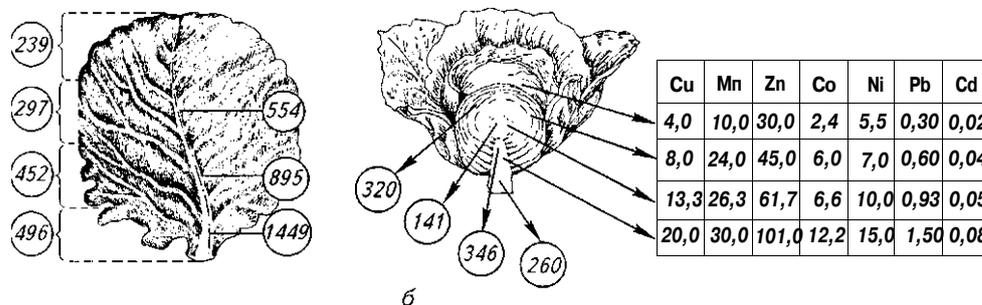


РИС. 23.2. Содержание в картофеле (а) и капусте белокачанной (б) тяжелых металлов (мг/кг сухого вещества) и нитратов — цифры в кружочках (N⁰³, мг/кг сырой массы)



Продолжение

Растение	Орган	Содержание свинца
Укроп	Стебель	41,7
	Листья	24,8
Чеснок	Луковица	10,0
	Лист	30,0
Хрен	Лист	0,25
	Черешок	0,75
	Корень	0,25
Сельдерей	Лист	2,0
	Черешок	4,0
	Корнеплод	3,5

для механического удаления опасной части органа.

Предложены меры снижения уровня содержания тяжелых металлов в продукции, получаемой в процессе выращивания сельскохозяйственных культур. Одним из важнейших звеньев производства экологически безопасной продукции является нормирование содержания тяжелых металлов.

Нормирование токсичных ингредиентов в компонентах окружающей среды, в первую очередь в продовольственном сырье и непосредственно в продуктах питания, — важный шаг на пути снижения поступления вредных веществ в организм человека и животных. В таблице 23.3 приведены ГТДК тяжелых металлов в пищевых продуктах. Вместе с тем было бы ошибочным преувеличивать и абсолютизировать принятые величины ПДК и ДОК. По своей сути они являются прежде всего лишь своеобразными «опорными точками» для сравнительных оценок. Имеющиеся ПДК загрязнителей позволяют сравнивать качественное состояние продукции по уровню ее загрязненности, разраба-

Для зеленных культур характерно более высокое содержание свинца в черешках, чем в листовых пластинках. Растения салата отличаются наиболее высоким содержанием свинца в корнях, тогда как растения петрушки и хрена — наименьшим. Среди зеленных культур наибольшее количество свинца во всех органах растения наблюдается у укропа, шавеля, салата.

Таким образом, зная распределение тяжелых металлов в отдельных зонах и тканях различных органов растений, можно оценить их опасность в зависимости от объема, который они занимают в данном органе. Это дает основание

23.3. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в пищевых продуктах и продовольственном сырье, мг/кг (Кольцов, 1995)

Пищевой продукт	Свинец	Кадмий	Ртуть	Медь	Цинк	Мышьяк
Зерновые	0,5 (0,3)	0,1 (0,03)	0,03	10,0	50,0	0,2
Гречиха	0,5 (0,3)	0,04	0,03	15,0	50,0	0,2

Продолжение

Пищевой продукт	Свинец	Кадмий	Ртуть	Медь	Цинк	Мышьяк
Хлеб	0,3	0,05	0,01	5,0	25,0	0,1
Соль поваренная	2,0	0,1	0,01	3,0	10,0	1,0
Сахар (песок)	1,0	0,05	0,01	1,0	3,0	0,5
Конфеты	1,0	0,1	0,01	15,0	30,0	0,5
Молоко	0,1 (0,05)	0,03 (0,02)	0,005	1,0	5,0	0,05
Масло сливочное	0,1	0,03	0,03	0,5	5,0	0,1
Творог, сыр	0,3	0,2	0,02	4,0	50,0	0,2
Масло растительное	0,1	0,05	0,03	0,5	5,0	0,1
Овощи свежие	0,5	0,03	0,02	5,0	10,0	0,2
Фрукты, ягоды	0,4	0,03	0,02	5,0	10,0	0,2
Грибы	0,5	0,1	0,05	10,0	20,0	0,5
Чай	10,0	1,0	0,1	100,0	—	1,0
Мясо и птица	0,5	0,05	0,03	5,0	70,0	0,1
Яйца	0,3	0,01	0,02	3,0	50,0	0,1
Жиры животные	0,1	0,03	0,03	0,5	5,0	0,1
Почки	1,0	1,0	0,2	20,0	100,0	1,0
Мясные внутренности	0,6	0,3	0,1	20,0	100,0	1,0
Рыба свежая:						
речная	1,0	0,2	0,6	10,0	40,0	1,0
морская	1,0	0,2	0,4	10,0	40,0	5,0
Моллюски и раки	10,0	2,0	0,2	30,0	200,0	2,0
Минеральные воды	0,1	0,01	0,005	1,0	5,0	0,1
Пиво, вино	0,3	0,03	0,005	5,0	10,0	0,2
Напитки	0,3	0,03	0,005	3,0	10,0	0,1
Детское питание:						
на молочной основе	0,05	0,02	0,005	1,0	5,0	0,05
на зерновой основе	0,1	0,02	0,01	5,0	10,0	0,10
на мясной основе	0,3	0,03	0,02	5,0	50,0	0,1
на овощной основе	0,3	0,02	0,01	5,0	10,0	0,2

Примечание. В скобках указаны ПДК для детского и диетического питания.

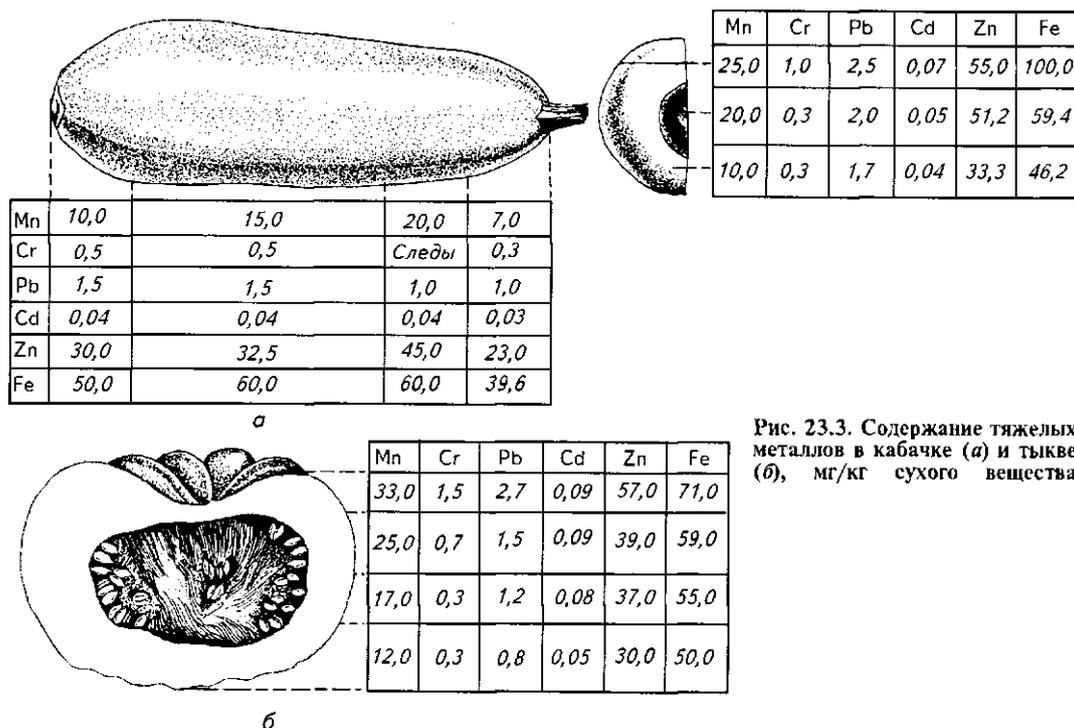


Рис. 23.3. Содержание тяжелых металлов в кабачке (а) и тыквае (б), мг/кг сухого вещества

тывать и реализовывать необходимые охранные мероприятия и т. д.

Во многих странах разработаны национальные нормативы ДОК. Сопоставление этих норм свидетельствует о том, что у них есть как сходство, так и различия. Например, в Германии (табл. 23.4) ДОК кадмия в овощах в 3 раза выше, чем принято в России.

23.4. Допустимые остаточные количества тяжелых металлов в пищевых продуктах, мг/кг (Найштейн и др., 1987)

Продукция	Тяжелые металлы						
	Hg	Cd	Pb	Zn	Ni	Cr	As
Рыбопродукты	5,0	0,1	1,0	40,0	0,5	0,3	1,0
Мясопродукты	0,03	0,05	0,5	40,0	0,5	0,2	0,5
Молочные продукты	0,005	0,01	0,05	5,0	0,1	0,1	0,05
Хлебопродукты	0,01	0,02	0,2	25,0	0,5	0,2	0,2
Овощи	0,02	0,03	0,5	10,0	0,5	0,2	0,2
Фрукты	0,01	0,03	0,4	10,0	0,5	0,1	0,2
Соки, напитки	0,005	0,02	0,4	10,0	0,3	0,1	0,2

В то же время ДОК кадмия в овощах, установленное в России и равное 0,03 мг/кг сырой массы, достигается при техногенном загрязнении почв очень быстро.

Применяя такие агротехнические приемы, как известкование, внесение минеральных и органических удобрений, можно на разных (особенно начальных) стадиях производства свести к минимуму вероятность накопления тяжелых металлов в вырабатываемой продукции.

На серых лесных почвах, например, внесение навоза способствовало снижению содержания свинца и кадмия в надземных органах амаранта примерно на 12 % по сравнению с контролем. В данном случае проявляется способность навоза образовывать комплексные соединения с тяжелыми металлами. Образующиеся металлоорганические комплексы малоподвижны или не способны к преодолению клеточных мембран на границе между почвой и корнем.

Уменьшение токсичности металлов для растений должно основываться прежде всего на мероприятиях, направленных на повышение содержания гумуса в почве (внесение органических

удобрений, использование сидератов, заплата соломы и т. д.). Токсичность соединений хрома снижается при внесении в почву торфа.

Локальное внесение минеральных удобрений в дозе N⁶⁰P⁶⁰K⁶⁰ снижает содержание кадмия и свинца в 1,3...1,8 раза в урожае овса и гороха (табл. 23.5).

23.5. Зависимость содержания тяжелых металлов в урожае сельскохозяйственных культур (мг/кг сырого вещества) от способа внесения минеральных удобрений (Фатеев, 1996)

Культура	Кадмий		Свинец	
	вразброс	локально	вразброс	локально
Овес	1,05	0,56	10,5	7,8
Горох	2,2	1,2	46	34

Снижение содержания тяжелых металлов в урожае растений при локальном внесении минеральных удобрений объясняется тем, что подкисляющее действие удобрений проявляется только в очаге расположения их в почве, а не во всем объеме пахотного слоя (известно, что при подкислении повышается подвижность тяжелых металлов в почве и усиливается их поступление в растения). Следует также отметить, что продуктивность овса и гороха при локальном применении удобрений возрастает в 1,3... 1,5 раза по сравнению с разбросным применением в тех же дозах.

При известковании кислых почв поступление тяжелых металлов в растения уменьшается. Известкование способствует образованию комплексных соединений органических веществ почвы с тяжелыми металлами; при повышении pH тяжелые металлы выпадают из почвенного раствора в осадок (кроме Ag, Cd, Cr, Sr) в виде карбонатов, гидроксидов и фосфатов; при повышении pH и увеличении содержания кальция в почве снижается активность поглощения корневыми системами растений некоторых тяжелых металлов.

На процессы детоксикации тяжелых металлов положительно влияют фосфорные удобрения. Фосфаты цинка и свинца представляют собой труднорастворимые соединения, поэтому малодоступны для растений. По эффекту детоксикации монокальций фосфат, внесенный в почву в дозе 3 т/га, равен вне-

сению 1...4т извести на 1 га. На кислых почвах целесообразно вместо суперфосфата применять фосфоритную муку.

Существенному снижению поступления Sr, Cd, Pb, Cu, Zn способствует применение цеолитов (клиноптиллолит), которые, будучи емкими ионообменниками, поглощают подвижные формы элементов и тем самым снижают поступление их в растения. Благодаря применению цеолитов удается снизить уровень загрязнения продукции на 30 %. Дозы применения цеолита колеблются в пределах 40...75 т/га.

Среди биологических приемов следует выделить выращивание толерантных сортов и культур, используемых в пищу или в качестве корма, выращивание культур на семена, возделывание технических и лесных культур, разведение цветов.

Содержание тяжелых металлов в овощах и картофеле существенно уменьшается при кулинарной обработке. В результате очистки, промывания, снятия кожуры и бланшировки количество свинца и ртути снижается на 50 % в овощах и на 80...85 % в картофеле, а кадмия — на 20 %. Уменьшение содержания свинца при однократном промывании салата может достигать 30...70 %.

Нитраты. Сельскохозяйственной продукции без нитратов не бывает, поскольку они являются основным источником азота в питании растений. Для получения не только высоких, но и высококачественных урожаев необходимо вносить в почву минеральные азотные удобрения и органику. Потребность растений в азоте зависит от многих факторов: вида, сорта, погодных условий, свойств почвы и количества ранее применявшихся удобрений.

Проблема нитратов в сельскохозяйственной продукции тесно связана с крайне низкой культурой земледелия как в государственном, так и в частном секторе. Неграмотное применение азотных минеральных и органических удобрений в высоких и сверхвысоких дозах (в погоне за «валом») ведет к тому, что избыток азота в почве вызывает поступление нитратов в растения в больших количествах. Кроме того, азотные удобрения способствуют увеличению поступления из самой почвы нитратов, об-

разующихся при минерализации органического вещества.

Нитраты (NO^{-3}) представляют собой соли азотной кислоты (с формулой HNO_3), нитриты (NO^{-2}) — соли азотистой кислоты. Соли азотной кислоты используют в качестве удобрений: нитрат натрия — натриевая (чилийская) селитра, нитрат калия — калиевая селитра (или просто селитра), нитрат аммония — аммиачная селитра, нитрат кальция — кальциевая селитра.

В последнее время в связи с возросшим вниманием к охране окружающей среды все чаще объектами контроля становятся почва, вода, удобрения, растения. Как правило, содержание нитратов выражают в мг/100 г или мг/кг для почвы; в мг/кг сырой массы; в процентах на сухое вещество; в мг и процентах для растений; в мг/л для воды. Содержание нитратов характеризуют по азоту нитратов ($\text{N} - \text{NO}^{-3}$), по нитрат-иону (NO^{-3}) или по нитрату натрия (NaNO_3). С этой целью можно использовать коэффициенты пересчета:

Формы соединений	Коэффициент
$\text{N} - \text{NO}^{-3} \rightarrow \text{NO}^{-3}$	4,427
$\text{NO}^{-3} - \text{N} \rightarrow \text{NO}^{-3}$	0,226
$\text{NaNO}_3 - \text{N} \rightarrow \text{NO}^{-3}$	0,165
$\text{N} - \text{NO}^{-3} \rightarrow \text{NaNO}_3$	6,068
$\text{NO}^{-3} \rightarrow \text{NaNO}_3$	1,371
$\text{NaNO}_3 \rightarrow \text{NO}^{-3}$	0,730

Нитраты являются главным элементом питания растений, произрастающих на земле, поскольку в них входит азот — основной строительный материал. В естественных условиях (в лесу или на лугу) содержание нитратов в растениях небольшое (1...30 мг/кг сухой массы), они почти полностью переходят в органические соединения (аминокислоты, белки и т. д.). В культурных растениях (капуста, картофель, редис, свекла и т. д.) при возделывании на удобренной почве количество нитратов возрастает во много раз (40... 12 000 мг/кг сухой массы). Нитраты присутствуют во всех средах: почве, воде, воздухе. Сами нитраты не отличаются высокой ток-

сичностью, однако под действием микроорганизмов или в процессе химических реакций восстанавливаются до нитритов, опасных для человека и животных. В организме теплокровных нитриты участвуют в образовании более сложных (и наиболее опасных) соединений — нитрозоаминов, которые обладают канцерогенными свойствами.

Среди возделываемых культур наибольшее количество нитратов накапливается в свекле столовой, салате, шпинате, укропе, редисе, редьке, мг/кг сырой массы:

Арбуз	40...600
Баклажан	80...270
Брюква	400...550
Горчица салатная	1700...2500
Дыня	40...500
Зеленый горошек	20...80
Капуста белокочанная	600...3000
Капуста пекинская	1000...2700
Капуста кольраби	160...2700
Кабачок	400...700
Картофель	40...980
Кориандр	40...750
Кресс-салат	1300...4900
Лук зеленый	40...1400
Лук репчатый	60...900
Морковь	160...2200
Огурец	80...560
Патиссон	160...900
Перец сладкий	40...330
Петрушка (зелень)	1700...2500
Ревень	1600...2400
Редька черная	1500...1800
Редис	400...2700
Репка	600...900
Салат	400...2900
Свекла столовая	200...4500
Сельдерей	120...1500
Томат	10...190
Тыква	300...1300
Укроп	400...2200
Фасоль	20...900
Чеснок	40...300
Шпинат	600...4000
Щавель	240...400
Эстрагон	1200...2200

Томат, перец, баклажан, чеснок, горошек и фасоль отличаются низким содержанием нитратов.

В связи с опасностью, которую нитраты могут представлять для нормального функционирования организма человека, в различных странах разработаны ПДК нитратов в продуктах питания. ПДК устанавливают путем проведения специальных исследований на подопытных животных (мыши, крысы). Так как NO^{-3} поступает в организм челове-

ка преимущественно из овощей, то особое внимание следует обращать на динамику содержания NO^{-3} в овощах и продуктах их переработки.

ПДК нитратов установлены для продукции как открытого, так и защищенного грунта (парники, теплицы) (табл. 23.6). Для условий защищенного грунта характерны более высокие ПДК, чем для открытого грунта. Дело в том, что в условиях закрытого грунта растения, испытывая недостаток света, накапливают большее количество нитратов.

23.6. Предельно допустимые концентрации нитратов в пищевых продуктах, мг/кг сырой массы (Справочник ПДК вредных веществ в пищевых продуктах и среде обитания, 1993)

Пищевые продукты	Открытый грунт	Защищенный грунт
Картофель	250	—
Капуста белокочанная:		
ранняя	900	—
поздняя	500	—
Морковь:		
ранняя	400	—
поздняя	250	—
Томаты	150	300
Огурцы	150	400
Свекла столовая	1400	—
Лук репчатый	80	—
Лук зеленый	600	800
Листовые овощи (салат, шпинат, щавель, капуста салатная, петрушка, сельдерей, кориандр, укроп)	2000	3000
Дыня	90	—
Арбуз	60	—
Перец сладкий	200	400
Кабачок	400	400
Виноград столовых сортов	60	—
Яблоки	60	—
Груши	60	—
Продукты детского питания (овощи консервированные)	50	—

Для снижения содержания нитратов в продуктах питания важно правильно выбрать способ выращивания культур, способы хранения и переработки и методы контроля.

Накопление нитратов различными культурами имеет сортовую специфику. Такая специфика выявлена у многих видов овощных и бахчевых культур: шпината, салата, сельдерея, редиса, столовой свеклы, моркови, картофеля, томата, фасоли, огурца, дыни, а также у кормовых культур, сахарной свеклы, овса, кукурузы (табл. 23.7).

23.7. Сорты сельскохозяйственных культур с различным уровнем нитратов в урожае

Культура	Сорта с содержанием нитратов	
	низким	высоким
Картофель	Монализа, Олева, Сулев	Адретта, Лаймдота
Морковь	Шантенэ 2461, Би-рючекутская 415, Консервная	Артек, Лосиновостровская 13, Нантская 4
Капуста белокочанная	Зимовка 1474, Подарок	Июньская, Белорусская 455, Амагер 611, Слава 1305
Редис	Красный великан	Жара, Рубин
Огурец	Парад, Московский тепличный, Сюрприз 66	Конкурент, Апрельский
Свекла столовая	Бордо 237, Одноростковая, Сквирский дар	Египетская плоская
Сельдерей	Деликатес	Яблочный

Среди сортов и гибридов овощных культур, предназначенных для защищенного грунта, наименьшей способностью к накоплению нитратов отличаются следующие:

Огурец	— Стелла, Эстафета, Манул, Марафон
Редис	— Ранний красный, Заря, Тепличный
Петрушка	— Сахарная
Укроп	— Каскеленский

Широкое распространение сортов с низкой способностью к накоплению нитратов должно стать основой для улучшения биологического качества растениеводческой продукции. Данный путь наиболее целесообразен при выращивании овощей с коротким периодом вегетации (редис, листовые овощи), отличающихся повышенным накоплением нитратов.

Нитраты в растениях распределяются неравномерно. В генеративных органах нитраты отсутствуют или содержатся в меньших количествах, чем в вегетативных. В корне, стебле и черешках листьев нитратов значительно больше, чем в листовой пластинке (табл. 23.8).

23.8. Содержание нитратов (NO_3^-) в различных органах и частях растений, мг/кг сырой массы

Культура	Орган	NO_3^-
Свекла столовая	Лист	1300.. 2000
	Корнеплод	220.. 3000
Морковь	Лист	600.. 1500
	Черешок	1700.. 3000
	Корнеплод	10.. 1200

Продолжение

Культура	Орган	NO_3^-
Петрушка	Лист	1300...1900
	Черешок	1700...2600
	Корнеплод	1700...5700
Укроп	Лист	40...400
	Черешок	800...1600
	Стебель	1300...2100
	Корень	1300...1600
Картофель	Лист	20...400
	Стебель	40...1100
	Клубень	40...1000
Салат	Лист	100...550
	Черешок	400...900
Шпинат	Стебель	600...3000
	Лист	200...400
	Черешок	400...2000
Щавель	Стебель	500...5000
	Корень	70...100
	Лист	40...150
Кориандр	Черешок	170...250
	Лист	10...100
	Черешок	150...350
	Стебель	140...300
	Корень	60...ПО

Сравнительно немного нитратов накапливается в луковицах (рис. 23.4). В плодах культур семейств Тыквенные и Капустные содержится до 3000 мг/кг NO_3^- , тогда как у растений семейства Бобовые этот уровень не превышает 100 мг/кг. Нитраты практически отсутствуют в зерне злаковых культур, они в основном сосредоточены в вегетативных органах (лист, стебель). Активное накопление нитратов отмечается в сочных плодах овощных и бахчевых культур. Неравномерность в распределении нитратов связана с неодинаковой скоростью транспортных и синтетических процессов в различных органах растений. Накопление нитратов в разных органах зависит и от возраста растений: как правило, молодые органы аккумулируют большие их количества.

При использовании в пищу тех частей (органов) растений, которые содержат наименьшее количество нитратов, можно существенно снизить (более чем вдвое) поступление их в организм человека.

В клубнях картофеля низкое содержание нитратов отмечено в мякоти. В кожуре и средней части их содержится в 1,1...1,3 раза больше (см. рис. 23.2).

Сердцевина и кончик корня свеклы столовой отличаются от других частей корнеплода повышенным содержанием

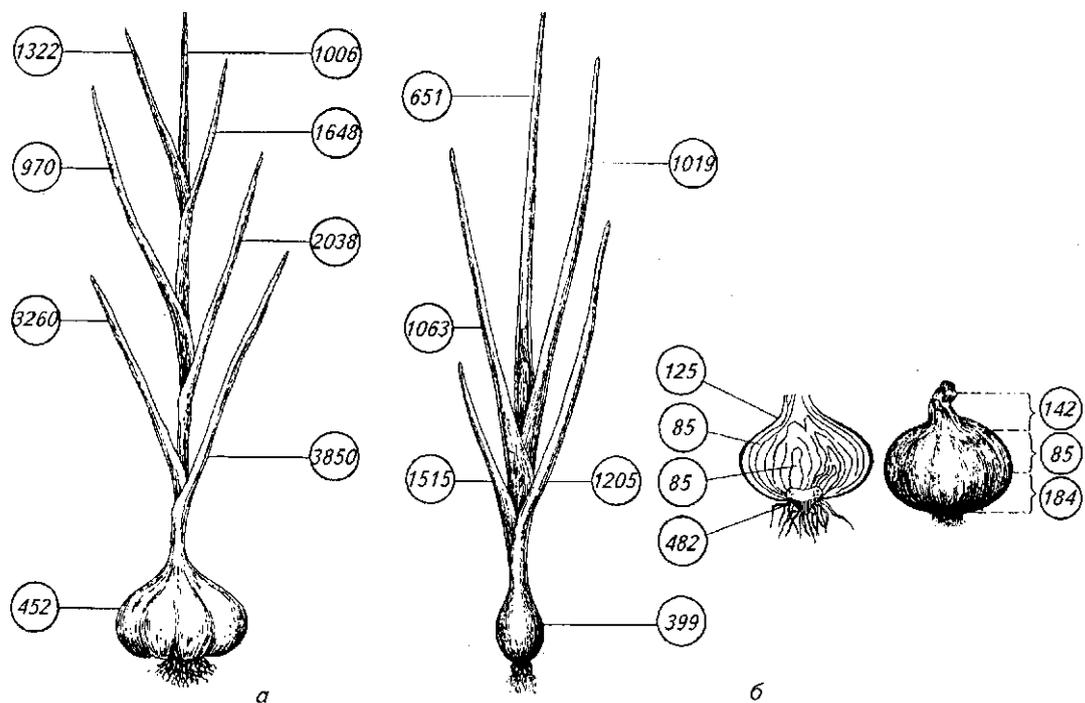


Рис. 23.4. Содержание нитратов в чесноке (а) и луке (б), мг/кг сырой массы

нитратов. Их высокое содержание наблюдается также в верхушке; в средней части корнеплода нитратов меньше (см. рис. 23.1).

В сердцевине корнеплода моркови нитратов в полтора раза больше, чем в коровой части. Уровень нитратов в сердцевине уменьшается от кончика корня к головке. В кожуре они распределены равномерно (см. рис. 23.1).

Корнеплоды редиса круглой формы содержат меньше нитратов, чем длинношюдные. Наибольшее количество нитратов наблюдается в нижней части корнеплода и в зоне, примыкающей к листьям (рис. 23.5).

Овощи семейства Тыквенные характеризуются повышенной способностью к накоплению нитратов. Содержание нитратов в огурцах возрастает от кончика к плодоножке (основанию). В семенной камере содержится наибольшее количество нитратов (рис. 23.6).

В плодах томата больше всего нитратов в кожуре, меньше — в семенной камере.

Содержание нитратного азота в пло-

дах кабачков уменьшается от плодоножки к кончику. Семенные камеры отличаются более низким содержанием нитратов, чем мякоть или кожура.

Наибольшее количество нитратов в патиссонах сосредоточено у плодоножки, наименьшее — в семенной камере. Количество нитратов возрастает от центра плода к его периферийной части.

Внутренние и внешние листья кочана капусты белокочанной содержат больше нитратов, чем средние. В жилке листа накапливается больше нитратов, чем в листовой пластинке (см. рис. 23.2).

Рациональная система применения удобрений, позволяющая уменьшить вероятность накопления нитратов в растениеводческой продукции, предполагает правильное определение форм, доз, сроков и способов внесения.

Лучшие формы азотных минеральных удобрений — сульфат аммония и мочевины. Не рекомендуется применять под овощные культуры аммиачную и натриевую селитру. Обязательное условие успешного применения азотных

удобрений — их сочетание с фосфорными и калийными удобрениями. Лучшим соотношением считается $N : P : K = 1 : 0,6 : 1,8$, т.е. должны преобладать калийные удобрения. Внесение фос-

форных и калийных удобрений способствует снижению количества нитратов в овощах. Большое внимание следует уделять дозе азотного удобрения. Она не должна превышать 20 г на 1 м² по азоту.

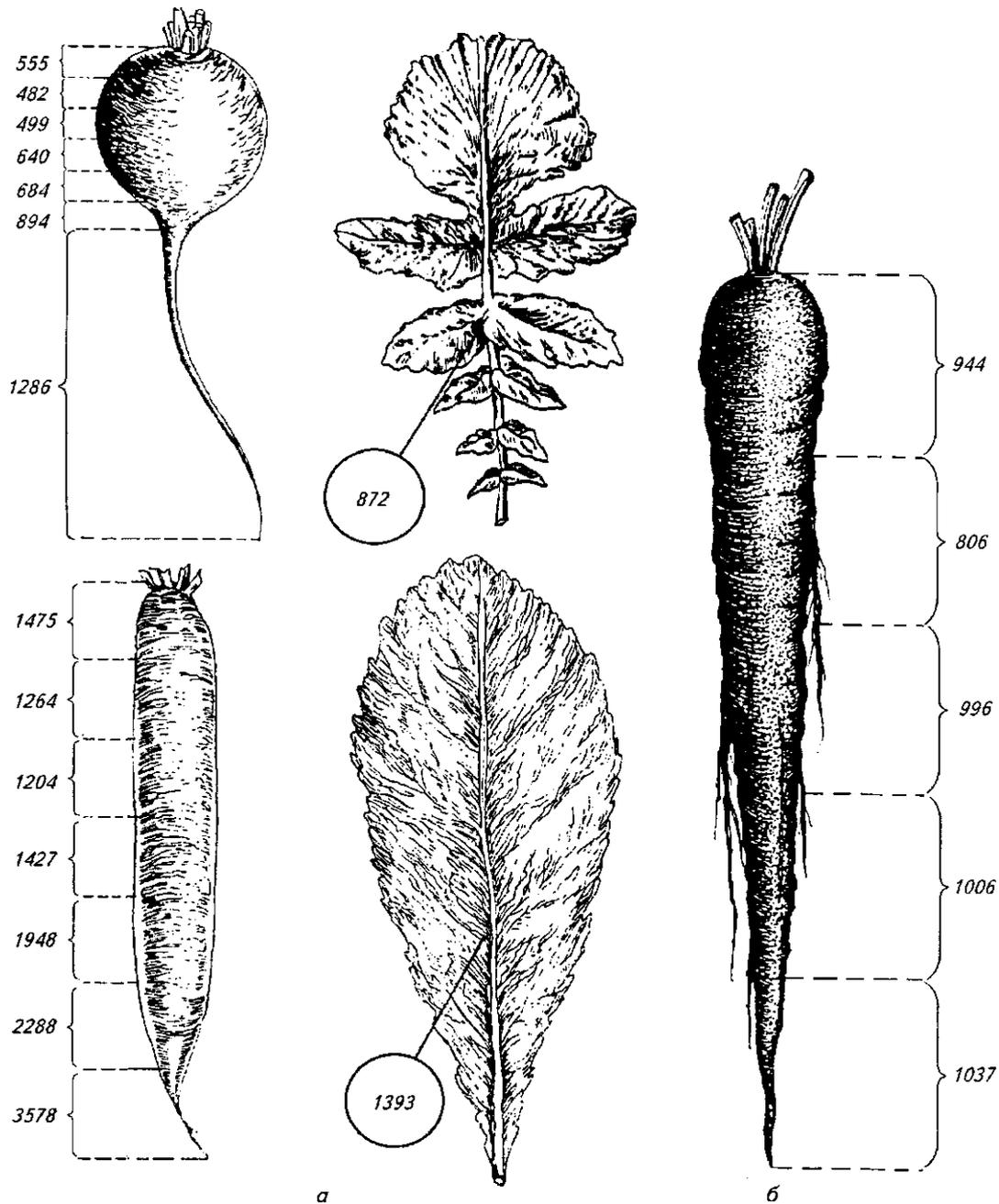


Рис. 23.5. Содержание нитратов в редисе (а) и корне петрушки (б), мг/кг сырой массы

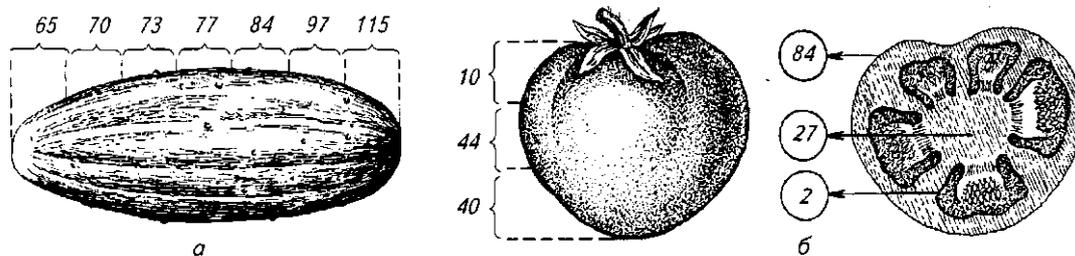


Рис. 23.6. Содержание нитратов в огурце (а) и томате (б), мг/кг сырой массы

Вносить удобрения лучше всего перед перекопкой участка, локальным способом — азотные удобрения вносят рядками (лентами) на глубину 10...12 см (расстояние между рядками 15...20 см). В этом случае дозу азота можно сократить на 25...30 % по сравнению с разбросным способом. Продуктивность растений не снижается, а зачастую даже повышается, поскольку в месте внесения азота образуется очаг повышенной концентрации аммония, который замедляет нитрификацию на 3...5 нед. Преимущественное потребление растениями аммонийного азота позволяет полнее использовать его на построение белков и тем самым снижать аккумуляцию нитратов. При локальном внесении азотных удобрений количество нитратов у зеленных культур и редиса снижалось на 10...60 %, у капусты и свеклы столовой — на 10...40 % по сравнению с разбросным внесением азота в тех же дозах.

На содержание нитратов в овощных культурах влияют сроки проведения подкормок. Наиболее действенны и полезны подкормки овощных культур азотом в конце июня — начале июля. Подкормки в более поздние сроки, особенно в период массового созревания корнеплодов и кочанов, приводят к избыточному накоплению нитратов.

Важное значение имеют органические удобрения (навоз, компосты, сидераты). Следует, однако, помнить о том, что навоз также является источником нитратов. При неумелом обращении с ним можно получить продукцию с высоким содержанием нитратов, превышающим ПДК.

Лучше всего навоз применять, предварительно прокомпостировав его с соломой или торфом. Внесение такого

компоста делает почву более рыхлой, улучшает ее структуру и не приводит к накоплению нитратов в продукции. Все виды навоза (коровий, свиной, овечий, птичий, кроличий) следует компостировать с торфом или соломой, а вносить компост в почву с осени.

Торф в чистом виде лучше не применять, поскольку он способен подкислять почву. Вместе с тем торф улучшает водные и физические свойства почвы. Разумно использовать его в компостах с навозом, в результате обеспечивается незначительное содержание нитратов в продукции в течение двух лет.

Хорошие результаты по снижению содержания нитратов в продукции дают зеленые удобрения (клевер, люпин, вика, горох, бобы). Эти культуры имеют хорошо развитую корневую систему, их корни проникают на большую глубину и рыхлят почву. В период цветения зеленую массу измельчают лопатой и перекапывают. На следующий год на этом участке удобрения уже не применяют. Гарантия получения продукции с низким содержанием нитратов в урожае обеспечена на 3...4 года.

Горохоовсяная смесь, выращиваемая на зеленое удобрение, — хороший предшественник для капусты, увеличивающий ее урожайность и снижающий содержание нитратов примерно в 1,5...2 раза не только в капусте, но и в выращиваемых после нее культурах (свекла столовая, морковь).

Овощные культуры формируют урожай высокого качества при оптимальной густоте стояния, при этом растения наилучшим образом используют азот из почвы и солнечный свет. Оптимальная густота стояния, обеспечивающая минимальное накопление нитратов, для

моркови составляет 150...180 растений на 1 м², для свеклы столовой — 70...100, капусты белокочанной — 10...12, салата листовых сортов — 40...45, салата кочанного — 20...25, шпината — 40...50, редиса — 75...80, петрушки — 90...100, сельдерея — 20...25, редьки — 20...25, репы — 25...30 растений на 1 м².

Содержание нитратов в овощных культурах возрастает на 30...40% при выращивании в тени плодовых деревьев или ягодников. Овощные растения, особенно зеленные культуры, лучше размещать на хорошо освещенных участках.

На накопление нитратов в овощных культурах влияет и влагообеспеченность. Поддержание влажности почвы в пределах 60...70 % полной полевой влагоемкости гарантирует минимальное накопление нитратов в продукции. В засушливое лето перед уборкой овощных и особенно зеленных культур (шпинат, салат, укроп) их необходимо обильно полить.

Для получения высококачественных клубней картофеля с минимальным количеством нитратов проращивают и прогревают клубни, выбирают оптимальные ранние сроки посадки, стремятся сохранить ботву в вегетирующем состоянии в течение длительного периода.

Скороспелые сорта картофеля накапливают больше нитратов, чем позднеспелые. Сорта картофеля по убыванию способности к накоплению нитратов в клубнях можно расположить в следующем порядке: Гатчинский, Невский, Огонек, Пригожий 2, Лорх, Темп, Истринский. Минимальное количество нитратов в клубнях накапливается при внесении минеральных удобрений в соотношении N : P : K = 1,0 : 1,5 : 1,2. Лучшей формой органических удобрений под картофель считается перепревший навоз, который целесообразно вносить осенью (под перекопку). При внесении жидкого навоза к нему необходимо добавлять солому (1 часть на 5 частей навоза). Птичий помет лучше вносить в форме компоста (60 % помета и 40 % торфа) — 4 кг/м². Оптимальная кислотность почвы для картофеля — pH 5,1—5,5.

Количество нитратов в корнеплодах к периоду их уборки убывает. В пучко-

вой моркови и молодой столовой свекле содержание нитратов в 2...4 раза выше, чем при уборке в конце вегетации. Содержание нитратов колеблется и в течение суток. Так, уборку листовых овощей следует проводить в вечерние часы, в это время в них содержится нитратов на 30...40 % меньше.

Рассматривая нитратное загрязнение сельскохозяйственной продукции, нельзя упускать из виду макро- и микроэлементный состав почв, степень их загрязнения и др. Так, на почвах легкого гранулометрического состава, бедных калием, опасность нитратного загрязнения возрастает. Недостаток серы тоже способствует накоплению нитратов, так как сульфогруппа входит в состав фермента нитратредуктазы, представляющей собой комплекс флавопротеина с молибденом. При дефиците в почве молибдена и марганца нитратредуктаза образуется в недостаточном количестве, что, в свою очередь, стимулирует накопление нитратов в растениях.

На процессы накопления нитратов в овощах влияет загрязнение почвы и поливной воды. Это также необходимо учитывать при решении практических задач.

Убранную продукцию следует правильно хранить и перерабатывать, поскольку нарушение условий хранения и режимов переработки может вызвать повышение количества нитратов в конечном продукте.

Колебания в содержании нитратов при хранении зависят от вида продукции, исходного содержания их и режимов хранения. Хранение свежесобранной продукции при низкой температуре (в холодильнике) предотвращает образование нитратов, хранение при комнатной температуре способствует их образованию. К накоплению нитратов приводят сильная загрязненность листовых овощей и корнеплодов, механические повреждения, оттаивание свежемороженых овощей в течение длительного времени при комнатной температуре. При хранении овощей и картофеля в оптимальных условиях (температура и влажность воздуха) количество нитратов во всех видах продукции снижается, причем наиболее заметно в феврале-марте (табл. 23.9).

23.9. Снижение содержания нитратов в продукции при хранении, % исходного количества

Продукция	Через 3 мес	Через 6 мес
Картофель	10...15	50...70
Морковь	20...30	50...60
Свекла столовая	20...30	50...55
Капуста белокочанная	10...15	50...60

В зависимости от режимов и видов технологической переработки меняется содержание нитратного азота в конечном продукте. Как правило, количество нитратов в продукте в процессе переработки снижается. При этом важно соблюдать режимы переработки. Предварительная подготовка продукции (очистка, мойка, сушка) приводит к снижению количества нитратов в продуктах питания на 3...35 %. В процессе переработки продукции быстро разрушаются ферменты и гибнут микроорганизмы, что останавливает дальнейшее превращение нитрата в нитрит.

При варке картофеля в воде уровень нитратного азота падает на 40...80 %, на пару — на 30...70 %, при жарении в растительном масле — на 15 %, во фритюре — на 60 %. При предварительном замачивании картофеля в 1%-ном растворе хлорида калия и 1%-ном растворе аскорбиновой кислоты и дальнейшем жарении во фритюре уровень нитратов падает на 90 %.

Наибольшее количество нитратов теряется в процессе варки капуста — почти 60 % исходного содержания (табл. 23.10).

23.10. Снижение содержания нитратов в различных продуктах в процессе варки

Продукт	NO ³ -, мг/кг		Снижение, %
	до варки	после варки	
Капуста	57,8	24,3	58
Морковь	34,6	28,8	17
Свекла столовая	100,8	80,3	20
Картофель очищенный	39,0	23,5	40
Картофель неочищенный	32,6	27,2	17

В плодах соленых томатов количество нитратного азота возрастает в 1,4...1,8 раза, при этом в рассоле его в 2,2...2,8 раза больше, чем в исходных свежих плодах. Это результат применения в качестве приправы зеленых овощей (укроп, петрушка) и чеснока, содержащих повышенное количество нитратов.

В первые дни количество нитратов в плодах огурцов более эффективно снижается при консервировании, чем при засолке. Однако на 30-е сутки эффект от засолки и консервирования оказывается примерно равным, количество нитратов составляет свыше 30 % исходного уровня в продукции. При хранении консервированных огурцов (сорта Конкурент и Кустовой) в течение 4...6 мес содержание нитратов снизилось в 5...6 раз. При квашении капусты содержание нитратов на пятые сутки снижается в 2,1 раза по сравнению с исходным количеством в свежей капусте. В течение двух последующих суток уровень нитратов в квашеной капусте практически не меняется, постоянное содержание сохраняется в рассоле на протяжении недели.

При квашении, мариновании и консервировании часть нитратов переходит в нитриты, количество которых возрастает на третий-четвертый день, затем их содержание падает и к пятому—седьмому дню нитриты полностью исчезают. Вот почему использовать в пищу консервированные продукты в течение первой недели не рекомендуется.

В томатном соке, подвергающемся термической обработке, количество нитратов уменьшается в 2 раза. При 57%-ном выходе сока из моркови и 80%-ном выходе сока из столовой свеклы значительная часть нитратов переходит в жидкую фазу. Количество их в соке зависит от вида продукции. Так, в морковный сок из корнеплодов переходит 44 % нитратного азота от общего количества его в сырье, у свеклы почти 80 % его также переходит в сок (табл. 23.11).

23.11. Содержание нитратов в соке из некоторых овощей

Продукт	Содержание азота нитратов в исходном продукте, мг/кг	Содержание азота нитратов в соке	
		мг/л	% количества в продукте
Морковь столовая	148,8	64,8	44
Свекла столовая	455,3	335,4	77

При производстве сухих вин нитраты переходят в сок. Полученные вина могут содержать 1...47,8 мг нитратного азота в 1 л. Известно, что концентрация нитратов выше 8 мг/л существенно ска-

зывается на вкусовых качествах продукта, он приобретает вяжущий, кисло-соленый вкус.

Свежеприготовленные соки нельзя долго хранить без обработки, они могут стать опасными для здоровья вследствие быстрого перехода нитратов в нитриты. При хранении свекольного сока в течение суток при 37 °C количество нитритов возрастает от нуля до 296 мг/л, при комнатной температуре — до 188 мг/л, а в холодильнике — до 26 мг/л. В процессе сушки продукта или упаривания жидкости количество нитратов зачастую увеличивается.

Нитриты. Нитрит-ион (NO^{-2}) является составной частью азотистой кислоты (HNO_2), которая существует в виде разбавленного водного раствора на холоде, так как в обычных условиях легко разлагается.

В почве нитриты образуются в результате деятельности нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов в качестве промежуточного продукта окисления аммиака и восстановления нитратов.

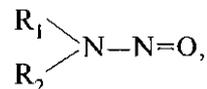
В обычных условиях их содержание в растениях и воде невелико. Однако при хранении свежих овощей при комнатной температуре может происходить микробиологическое превращение нитратов в нитриты, в результате чего содержание последних увеличивается (до 3600 мг/кг сухого вещества). При хранении в холодильнике в течение суток количество нитритов, например, в свежесобранном шпинате постепенно увеличивается, в то время как в замороженном шпинате их содержание не меняется. Однако количество нитритов резко возрастает при оттаивании замороженной продукции при комнатной температуре в течение длительного времени. Продолжительное хранение банок с консервированными продуктами детского питания в открытом состоянии ведет к повышению содержания нитритов. Наиболее интенсивно нитриты образуются в присутствии *Escherichia coli* и *Pseudomonas fluorescens*. Нитриты (в частности, нитрит натрия) широко используют при производстве и консервировании колбасных и мяс-

ных изделий и рыбной продукции для предотвращения ботулизма, вызываемого токсинообразующими штаммами *Clostridium botulinum*, которые присутствуют в сыром мясе и сохраняются в мясных продуктах после кулинарной обработки. Обычные концентрации нитритов в пищевых продуктах и воде не представляют опасности для здоровья взрослых и детей старшего возраста, но риск может быть намного выше для грудных детей до 3...6-месячного возраста.

В некоторых странах добавление нитритов в мясо, мясные продукты, сыр и рыбные продукты регламентируется законодательством.

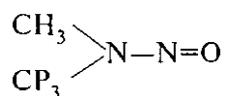
Из мясных продуктов наибольшее количество нитритов обнаружено в солонине и ветчине (соответственно 20...200 и 10...180 мг/кг), наименьшее их количество содержится в сосисках (8...10 мг/кг). Сыры, как правило, не содержат заметного количества нитритов (не более 1 мг/кг).

N-нитрозосоединения. Эти вещества имеют общую структуру:

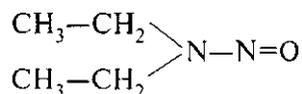


где R^1 и R^2 являются алкильными или арильными группами. N-Нитрозосоединения относятся к химическим соединениям, широко распространенным в компонентах окружающей среды — почве, воде, воздухе, растениях, поэтому они постоянно действуют на человека. Многие из этих соединений способны вызывать опухоли у теплокровных даже при небольших концентрациях. Считается, что доза нитрозоамина 10...14 мг/кг является канцерогенной при длительном поступлении с продуктами, имеющими существенный удельный вес в рационе человека. К N-нитрозосоединениям относятся N-нитрозоамины и N-нитрозоамиды. N-Нитрозоамины образуются как в самих организмах теплокровных, так и вне их. В отличие от N-нитрозоаминов N-нитрозоамиды проявляют канцерогенное действие без предварительной модификации. Широко распространенные N-нитрозоамины: N-нитрозодиме-

тиламин (НДМА) со структурной формулой



и N-нитрозодиэтиламин (НДЭА) со структурной формулой



Нитрозоамины — достаточно стабильные соединения, способные длительное время циркулировать в окружающей среде, загрязняя почву, воду, воздух, корма. Во многих регионах существует реальная угроза повышения содержания N-нитрозосоединений и их предшественников, негативного воздействия на экосистемы, состояние здоровья человека и животных.

Наличие нитрозоаминов в почве свидетельствует о том, что они могут поступать в растения экзогенным путем, т. е. в системе почва—растение нитрозоамины могут образовываться и разлагаться, поглощаться растениями. Поступающие из почвы в растения нитрозосоединения под действием ферментов подвергаются денитрозированию и расщеплению до исходных веществ. Кроме того, нитрозоамины могут образовываться и в самих растениях при наличии предшественников: аминов, амидов, нитратов, нитритов и некоторых аминокислот. К веществам, которые катализируют реакции нитрозирования, относятся: хлориды, бромиды, галогениды, соли металлов, комплексные соединения Mo, Cu, Fe, Hg, Co, хлорогеновая и галловая кислоты. К ингибиторам реакции нитрозирования относятся: аскорбиновая кислота, токоферол, лизин, треонин, кофейная и феруловая кислоты.

Наибольшее количество НДМА найдено в рыбных (31...35 мг/кг), мясных (37...41) продуктах, пиве (40...45) и солоде (560...590 мг/кг). Содержание нитрозоаминов в молочных и растительных продуктах, напитках и соках колеблется в широких пределах (0,01...1,2 мкг/кг). Допустимые концентрации нитрозоа-

минов в продукции растениеводства установлены в границах 0,005...0,01 мг/кг сырого вещества. Суммарное содержание НДМА и НДЭА в зерне не должно превышать 0,002 мг/кг, в пиве — 0,003, в солоде — 0,015 мг/кг. Однако для других продуктов нормативов на содержание нитрозоаминов пока не имеется.

В смесях сочных концентрированных кормов содержание НДМА может достигать 150 мкг/кг. В кормах с добавлением рыбной муки количество НДМА колебалось в пределах 5...400 мкг/кг. Среди культурных растений наименьшим содержанием нитрозоаминов отличается пшеница, а наибольшим — свекла. Высоким количеством нитрозоаминов отличаются такие лекарственные травы, как череда, пустырник и шалфей.

Количество нитрозоаминов в продукции растениеводства зависит от погодных условий, свойств почвы и применяемых удобрений. При неблагоприятных погодных условиях содержание нитрозоаминов возрастает. При внесении фосфорных и калийных удобрений количество НДМА и НДЭА в клубнях картофеля снижается более чем в 4 раза. В процессе хранения картофеля в течение 9 мес количество нитрозоаминов также снижается. Применяемые азотные удобрения способствуют аккумуляции нитрозоаминов в урожае редьки и капусты пекинской.

В целом содержание N-нитрозосоединений в растениеводческой продукции значительно ниже по сравнению с возможным их накоплением в продукции животноводства. Как правило, в продукции растениеводства количество НДМА выше, чем НДЭА. Больше всего НДМА накапливается в капусте, свекле кормовой и моркови. Высоким содержанием НДЭА отличаются яблоки, капуста и кукуруза.

Таким образом, высокая аккумуляция N-нитрозосоединений в продукции в значительной степени обусловлена деятельностью человека. Разумеется, очень важно учитывать допустимые уровни содержания нитрозосоединений.

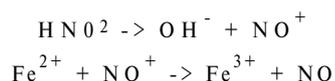
Допустимые уровни содержания N-нитрозоаминов в продовольственном сырье и пищевых продуктах (суммарное

содержание НДМА и НДЭА) (Позняковский, 1996), мг/кг, не более:

Мясо и мясные продукты (кроме копченых)	0,002
Копченые мясные продукты	0,004
Рыба и рыбопродукты	0,003
Зерновые, зерновые бобовые, крупы, мука, хлебобулочные и макаронные изделия	0,002
Пивоваренный солод	0,015
Пиво, вино, водка и другие спиртные напитки	0,003

Влияние нитратов и их производных на здоровье человека. Как вещества, обладающие токсичными свойствами, нитраты и нитриты известны давно. Например, широкую известность получило заболевание под названием «метгемоглобинемия», особенно опасное для детей грудного возраста. При этом заболевании нитратный ион (NO^-3) взаимодействует с гемоглобином крови, образуя метгемоглобин, который не способен транспортировать кислород крови, что приводит к удушью.

Метгемоглобин — продукт окисления двухвалентного железа (Fe^{2+}) в трехвалентное (Fe^{3+}). В результате гемоглобин, имеющий красную окраску, превращается в метгемоглобин, отличающийся темно-коричневой окраской:



При нормальном состоянии в организме образуется около 2 % метгемоглобина, поскольку редуторы красных кровяных телец (эритроцитов) взрослого человека обладают способностью вновь превращать образовавшийся метгемоглобин в гемоглобин.

При поступлении значительных количеств нитратов в организм человека проявляется цианоз (темно-синяя или фиолетово-синяя окраска слизистой и кожного покрова), понижается кровяное давление, наблюдается сердечная и легочная недостаточность.

Первые признаки заболевания отмечаются при содержании в крови 6...7 % метгемоглобина. Легкая форма болезни соответствует содержанию в крови 10...20 % этого вещества, средняя — 20...40 %, а тяжелая — более 40 % (не исключается летальный исход).

Нитраты в повышенной концентрации могут влиять на активность ферментов пищеварительной системы, метаболизм витамина А, деятельность щитовидной железы, работу сердца, на центральную нервную систему. Хроническая интоксикация нитратами снижает содержание в организме витаминов А, Е, С, В¹ и В⁶.

Повышенные количества нитратов в продуктах питания могут приводить к возникновению и более опасных заболеваний. Нитриты, образовавшиеся в кишечнике, могут превращаться в нитрозоамины — сильные канцерогены.

Механизм канцерогенного действия N-нитрозосоединений на молекулярном уровне включает алкилирование нуклеиновых кислот, в первую очередь гуанина.

Канцерогенность нитрозосоединений для развивающегося плода в 10 раз выше, чем для взрослых людей, что, возможно, определяется большей активностью нуклеиновых кислот в период эмбрионального развития, а также высокой чувствительностью нервной системы плода.

Изучение биологического действия нитратов и их производных свидетельствует о том, что повышенные концентрации этих веществ могут отрицательно влиять на все жизненно важные функции человека (рис. 23.7).

Ингибиторами реакции нитрозирования в организме человека являются аскорбиновая кислота (витамин С), а также токоферолы (витамины группы Е), полифенолы, танин и пектиновые вещества, содержащиеся в овощах.

При соотношении витамина С и нитратов 2 : 1 нитрозоамины не образуются. Такое соотношение свойственно многим овощам, что естественным путем предотвращает опасность образования нитрозоаминов. Препятствует образованию нитрозоаминов и клетчатка, подавляющая всасывание их в кровь в толстой кишке.

Предполагается, что аскорбиновая кислота оказывает ингибирующее действие и на образование метгемоглобина. Так, опыты, проведенные на крысах, показали, что при кормлении их морковью, содержащей NO^-3 в количестве



Рис. 23.7. Возможные эффекты воздействия повышенных количеств нитратов и их производных на организм человека (Ильницкий, 1991)

260 мг/кг, и капустой с содержанием NO_3^- 730 мг/кг концентрация метгемоглобина в крови подопытных животных была практически одинакова, что объясняется более высоким содержанием витамина С в капусте. Витамин С обладает и противораковым действием. Следовательно, необходимо вводить в рацион продукты с высоким содержанием витаминов, особенно витамина С (овощи и фрукты).

Пестициды и их остаточные количества. В агроэкосистемы наряду с удобрениями поступают различные химические соединения, используемые в качестве средств защиты растений от сорняков, болезней и вредителей и именуемые в целом пестицидами. Особое беспокойство вызывает возможность загрязнения почв, воды, растений, в том числе урожая и продуктов его переработки, остаточными количествами пестицидов.

Пестициды могут приводить к образованию злокачественных опухолей у человека. Примерно 70 % применяемых соединений попадает в организм человека с мясом, молоком и яйцами, а 30 % — с растительной пищей.

Основная причина накопления остаточных количеств пестицидов в продуктах — нарушение правил и регламентов

применения препаратов (завышение рекомендуемых доз, нарушение сроков обработки сельскохозяйственных культур, неправильный выбор препаративной формы и способа применения и т. п.).

При оценке возможности допуска нового препарата проводят экотоксикологическую проверку. При этом следует делать упор не только на выявление характерных особенностей поведения пестицида в окружающей среде, но и на его действие на растения и животных в процессе их биологического развития, т. е. контроль должен распространяться и на качество конечной продукции, используемой для питания. Необходимо знать все процессы прохождения загрязняющих веществ через организм растений и животных, питающихся этими растениями (рис. 23.8).

Критерием оценки содержания пестицидов является ПДК или ДОК. В разных странах эти нормативы неодинаковы, что затрудняет обмен продовольствием. Основная причина таких различий — использование разных методов определения остаточных количеств препаратов и продуктов их распада.

Наиболее часто в пищевых продуктах содержатся остатки дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и изомеров гексахлорциклогексана (ГХЦГ). В то же вре-

мя фосфорорганические пестициды нестабильны, практически не накапливаются в продуктах питания.

Пестициды могут влиять на обменные процессы в растениях, что сказывается на химическом составе и пищевой ценности продукции. При соблюдении всех правил применения средств химизации негативных изменений в составе и содержании питательных элементов в растениях не происходит, а накопление пестицидов в продукции не превышает ПДК.

Для того чтобы избежать возможности аккумуляции остаточных количеств пестицидов в окружающей среде, снизить риск возникновения резистентных видов вредных организмов, необходимо чередовать препараты с разным механизмом действия. Использование отдельных эффективных приемов защиты растений не обеспечивает долговременного подавления вредных организмов, необходима интегрированная защита растений, когда химические методы сочетаются с биологическими и агротехническими мероприятиями.

Растения по степени накопления остаточных количеств хлорорганических пестицидов (ХОП) в продуктивных органах располагаются в следующем порядке: морковь > петрушка > картофель > свекла > многолетние травы > томат > кукуруза > капуста белокочанная. В корнеплодах ХОП накапливаются в основном в кожуре и в меньших количествах — в мякоти. Накопление пестицидов и продуктов их распада в пищевой продукции связано с процессами метаболизма, с биохимическим составом растений. Длительному сохранению химических средств защиты растений в зерне, плодах и ягодах способствует наличие в продукции моносахаридов и полисахаридов, которые являются стабилизаторами токсикантов (в фармакологии это свойство Сахаров используют для приготовления таблеток).

Сорта картофеля с большим количеством крахмала лучше накапливали и сохраняли фунгицид ридомил МЦ. После 8 мес хранения клубней содержание этого вещества в 270 раз превышало максимально допустимый уровень.

Основную роль в устойчивом функционировании агроэкосистем играют

почвы с их уникальными свойствами и способностью к самоочищению от загрязняющих веществ, в том числе и от остаточных количеств пестицидов. Важными факторами в процессах трансформации загрязняющих веществ являются гранулометрический состав, содержание гумуса в почве и его состав. Гумус инактивирует продукты распада пестицидов и препятствует тем самым загрязнению экосистем. Вместе с тем сорбированные гумусовыми соединениями ксенобиотики могут сохраняться в почве длительное время, представляя постоянную угрозу токсикации отдельных компонентов экосистем.

Хлорорганические пестициды в течение нескольких десятилетий занимали одно из первых мест по масштабам использования в сельском хозяйстве России. ХОП устойчивы к высокой температуре, солнечной радиации, действию сильных кислот и щелочей. Они харак-

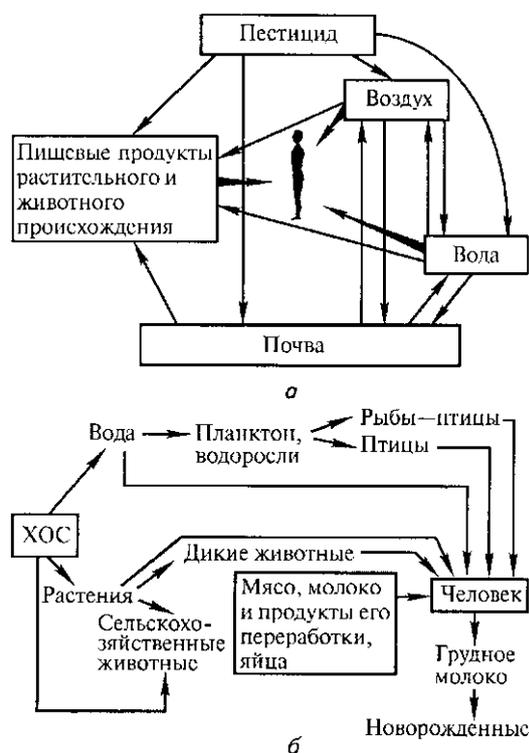


Рис. 23.8. Возможные пути поступления пестицидов в организм человека (а); миграция и биоконцентрация хлорорганических соединений (ХОС) в пищевых цепях (б)

теризуются прочностью образуемых химических связей, слабой растворимостью в воде. Эти свойства определяют длительное сохранение препаратов в окружающей среде (период полураспада в почве 10... 15 лет), способность циркулировать в природе и распространяться на большие расстояния, загрязняя природные компоненты. Существует два пути поступления ХОП в экосистемы: 1) выпадение с осадками в результате глобального переноса воздушных масс в направлении с запада на восток в Северном полушарии; 2) многолетнее применение на полях ДДТ и ГХЦГ (второй путь — основной).

Длительное применение ХОП приводит к значительному накоплению как самих препаратов, так и их метаболитов. В сказанном нетрудно убедиться, обратившись к рисунку 23.9. Так, в пойме Оки содержание ХОП в пахотном слое достигло 0,08...0,15 мг/кг почвы. Кроме того, остатки стойких пестицидов поступали в геохимически подчиненный пойменный ландшафт с поверхностным стоком. Твердый сток вместе с сорбированными остатками этих препаратов при замедлении скорости потока на пойме оседал в притеррасных и приозерных понижениях, на дне озер в виде ила. Несмотря на низкую концентра-

цию ХОП в воде озер, эти вещества и их метаболиты в значительных количествах накапливаются в иле, планктоне, рыбе, питающейся планктоном. При использовании в пищу такой рыбы ядовитые вещества попадают в организм человека. Круг замыкается.

Наибольшее количество загрязняющих веществ накапливается в органах выделения рыб (печень, почки). Значительное количество загрязняющих веществ обнаружено в мозге, икре, а наименьшее — в мышцах (рис. 23.10).

Накопление остаточных количеств пестицидов в организме рыб, обитающих в Оке, существенно ниже, чем у обитающих в озерах- старицах. Причины — достаточно сильное течение в реке и стоячая вода в старицах. На примере рыб наглядно прослеживается процесс концентрации различных ингредиентов, в том числе нежелательных, по мере продвижения по трофической цепи.

После многолетней обработки тайги против клещей 10%-ным раствором дуста (доза 5 кг/га) в речной воде остатков ХОП не обнаруживалось. В донных же отложениях содержание их составляло 0,01...0,37 мг/кг, а в речной рыбе — 0,09...4,24 мг/кг.

В процессе биоаккумуляции много-

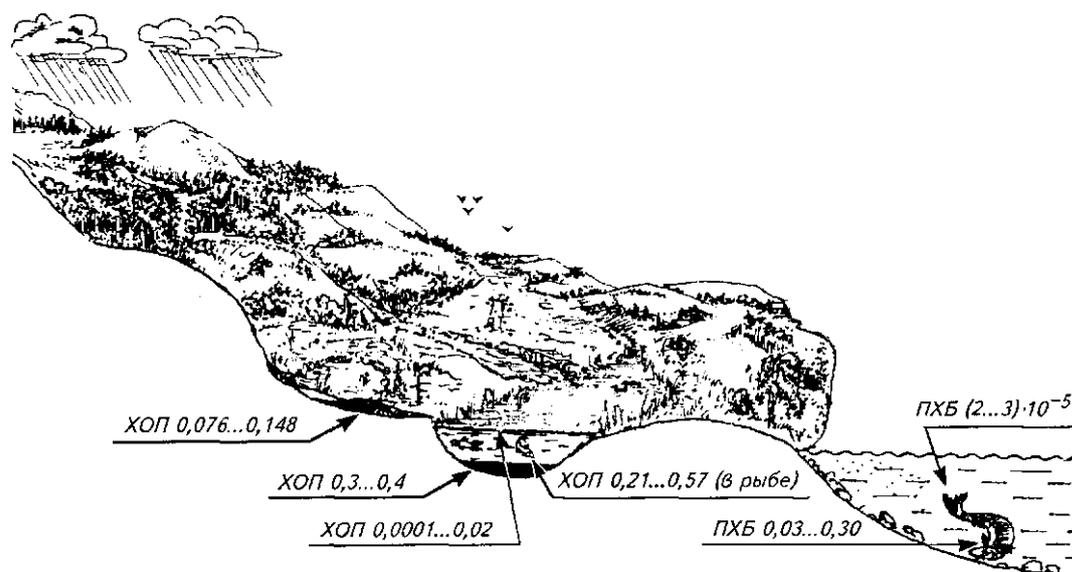


Рис. 23.9. Накопление загрязняющих веществ в цепях питания, мг/кг (ХОП — хлорорганические пестициды; ПХБ — полихлорбифенилы)

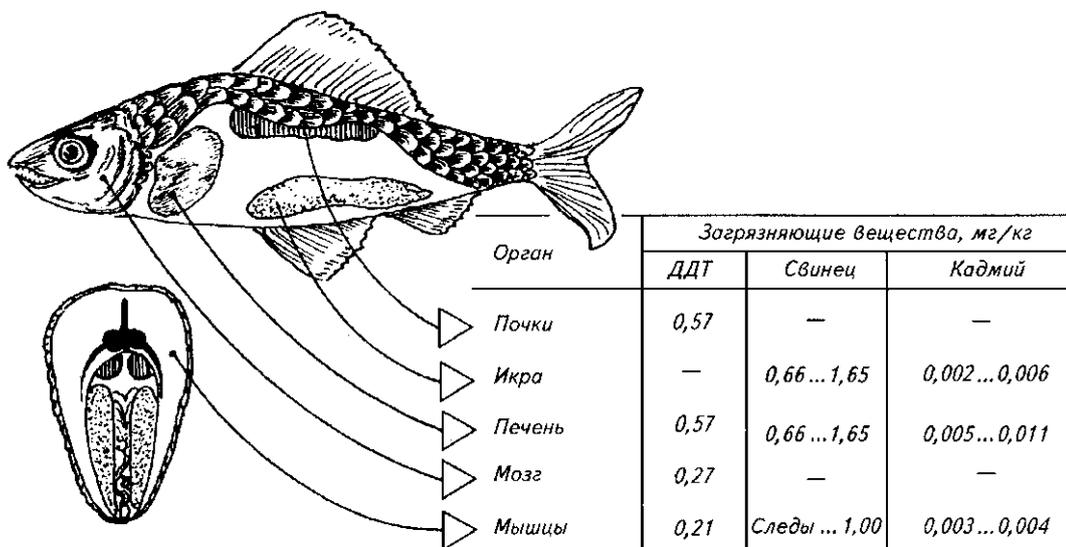


Рис. 23.10. Распределение загрязняющих веществ по органам рыб

кратно (до сотен тысяч раз) повышается концентрация пестицидов от основания к вершине экологической пирамиды. Например, при концентрации препарата ДДТ в воде 0,000003 единицы в планктоне она достигает 0,04; в мелкой рыбе, питающейся планктоном, — 0,5; в крупной рыбе, поглощающей мелкую, — до 2 и у птиц, кормящихся крупной рыбой, — до 25 единиц.

Сравнение отдельных видов рыбы показывает, что больше всего загрязнены печень, мышцы и органы воспроизводства чехони, окуня и белоглазки. Густера, голавль и лещ отличаются сравнительно низким содержанием хлорорганических соединений.

Использование озер-старич для рыбохозяйственных нужд (как это издавна было на Руси) далеко не всегда целесообразно при сложившихся технологиях использования пестицидов в процессе выращивания овощных культур. Реабилитация озер-старич и всей гидрографической сети пойменных агроландшафтов, направленная на очистку воды от остатков ХОП, должна рассматриваться как важный элемент конструирования оптимальных агроэкосистем, как одно из условий полноценного использования ресурсного потенциала.

«Дозволено лишь то, что подоба-

ет», — писал И. В. Гёте. Применительно к экологическим проблемам этот тезис означает необходимость учета природных закономерностей в деятельности человека. В противном случае человек сам становится игрушкой природы. Любопытно вспомнить высказывание Ф. Энгельса: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых»*. История применения пестицидов, особенно ДДТ, наглядно иллюстрирует сказанное.

ДДТ появился в середине 40-х гг. XX в. Препарат сразу же затмил другие химикаты как самый эффективный. Швейцарский исследователь П. Мюллер в 1948 г. за синтез ДДТ получил Нобелевскую премию. В первые годы после второй мировой войны ДДТ рекомендовали применять при выращивании всех культур, он считался совершенно безопасным. А примерно через 10 лет было установлено, что кор-

*Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 20. С. 495—496.

мовые культуры, обработанные ДДТ, опасны не только для самих коров, но и для телят. Поступая с молоком, ДДТ вызывал у телят серьезные нарушения здоровья (расстройство нервной системы). В 70-х гг. XX в. выяснилось, что ДДТ и его производные обладают мутагенным действием, нарушающим наследственность. При этом негативное воздействие пестицида существенно усиливается его метаболитами.

В конце 60-х — начале 70-х гг. XX в. препарат и его производные были обнаружены в жировых тканях и материнском молоке, причем количество их в материнском молоке оказалось гораздо выше, чем в коровьем.

Использование высокочувствительных методов анализа позволило выяснить, что органохлориды, к которым относятся ДДТ и его метаболиты, — стойкие вещества, способные продолжительное время загрязнять окружающую среду, находясь в почве, воде или воздухе и тем самым участвуя в образовании опасных пищевых цепей.

Среди пестицидов обнаружено немало веществ, обладающих канцерогенным действием. Попадая в организм, они могут вступать в реакции нитрозирования, образуя канцерогенные соединения. Кроме того, канцерогенность препаратов во многом объясняется наличием канцерогенных примесей. Так, в препарате 2,4-Д содержится до 14 мг/кг НДМА, а в трефлане — до 500 мг/кг.

При распаде пестицидов в растениях могут образовываться различные соединения (метаболиты), вступающие в реакции нитрозирования. Об этом свидетельствует обнаружение в растительных тканях N-нитрозосимазина и N-нитрозоатразина, представляющих канцерогенную опасность. Хлорорганические соединения и препараты диоксинового синтеза, которые сохраняются длительное время в почве, могут попадать в цепи питания человека и животных. В связи с этим необходимо нормирование содержания стойких пестицидов не только в пищевых продуктах, но и в почвах. Если содержание пестицидов в почве выше ПДК, то некоторые культуры (морковь, петрушка, картофель) не рекомендуется выращивать на данном поле, поскольку часть препаратов мо-

жет накапливаться в товарной части урожая.

Остаточные количества 2,4-Д обнаружены в кормах и рыбе. Достаточно высокое содержание данного гербицида выявлено в молоке и незначительное — в зерне злаков (мг/кг):

Зерновые	0,02	Рыба	0,30
Картофель	0,04	Молоко	0,09
Овощные	0,05	Корма	0,34

Отдельное направление биологической защиты — использование препаратов на природной (чаще всего растительной) основе. Следует помнить и о некоторых общедоступных приемах. Так, высушенные и измельченные листья картофеля, помещенные с клубнями в хранилище, снижают на 40 % потери продукта при хранении. Настой зеленого перца с чесноком или табаком весьма эффективен против колорадского жука.

Важно также учитывать потенциальные возможности самоочистки и самовосстановления экосистем и их компонентов. Огромное количество пестицидов, циркулирующих в биосфере, в конечном итоге осаждаются в почве, влияя на качество сельскохозяйственных продуктов. Дальнейшая судьба ксенобиотиков, самоочистка агрофитоценозов от них зависят от свойств почвы, главным образом от ее биологической активности. Микроорганизмы, выделяющие ферменты, играют основную роль в процессах разложения пестицидов в почве. Так, разложение препарата 2,4-Д в нестерильной почве происходит в несколько раз быстрее, чем в стерильной.

При отсутствии воздействия светового фактора (фоторазложение) на долю микробного разложения 2,4-Д приходится около 70 %. Следовательно, поддержание условий, необходимых для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов, способствует ограничению поступления пестицидов в выращиваемую продукцию.

Диоксины (рис. 23.11). Опасность диоксинов как веществ, относящихся к разряду супертоксикантов, в конце 70-х гг. XX в. приобрела общепланетарные масштабы. Угрозу человечеству от этой группы веществ можно сравнить с последствиями применения ядерного

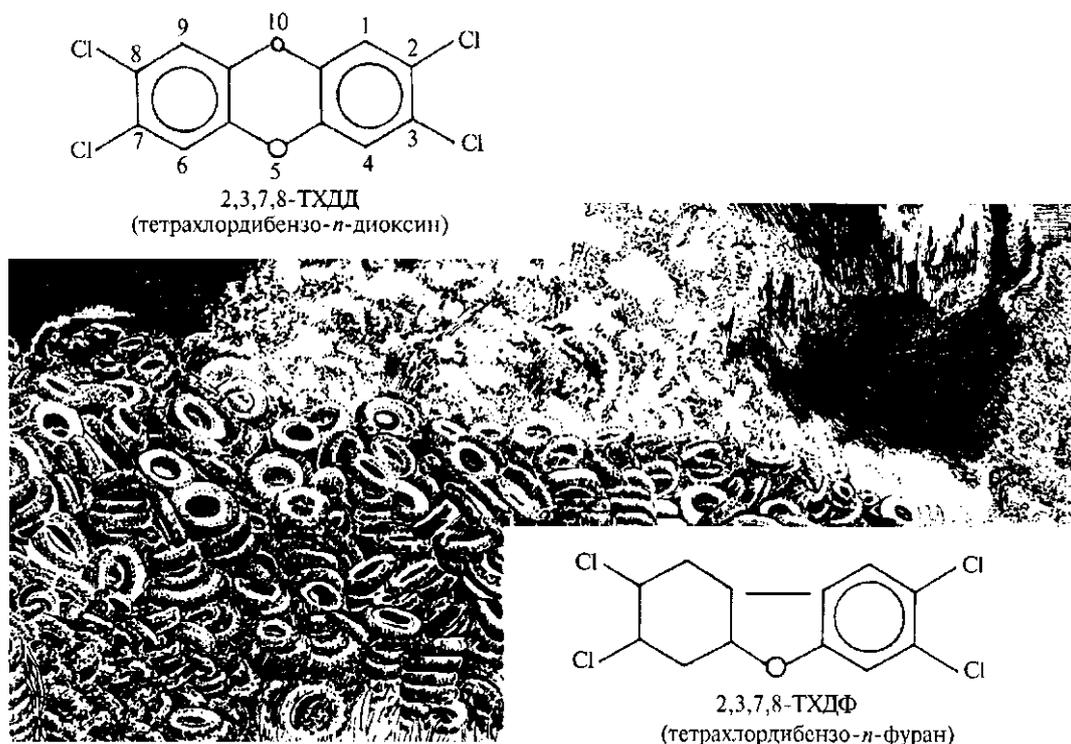


Рис. 23.11. Образование диоксинов

оружия. Особо опасны для окружающей среды и человека главным образом тетразамещенные диоксины — 2, 3, 7, 8-ТХДД (тетрахлордibenзо-*p*-диоксин) входит в состав пестицидов комплексного действия в качестве микропримеси. Наиболее важные химические характеристики диоксинов — чрезвычайная стабильность в сильноокислых и щелочных растворах, высокая устойчивость к окислителям. Период полураспада диоксинов в почве составляет около 10 лет, в воде — 1...2 года. Диоксины прочно связываются с частицами почвы, поэтому плохо вымываются дождями. Однако подвижность диоксинов резко снижается с увеличением содержания в почве органического вещества. Диоксины концентрируются в основном в верхнем 15-сантиметровом слое почвы, а наибольшее их количество находится на глубине 5... 10 см.

Источники образования диоксинов и пути проникновения их в неживую и живую природу весьма разнообразны. Диоксины имеют исключительно тех-

ногенное происхождение. Их появление в окружающей среде связано в первую очередь с производством и использованием хлорорганических соединений и утилизацией их отходов. В воздушную среду диоксины попадают с дымом при сжигании промышленных и бытовых отходов, а также с выхлопными газами автомобилей. С воздушными массами диоксины переносятся на значительные расстояния и могут быть причиной глобального загрязнения.

Накопление диоксинов осуществляется главным образом по пищевым цепям. Большинство диоксинов легко попадают в живые организмы через желудочно-кишечный тракт, кожные покровы. Диоксины очень медленно выводятся из живых организмов, а из организма человека практически не выводятся. Даже при очень малых концентрациях диоксины вызывают подавление иммунной системы и нарушают способность организмов к адаптации в изменяющихся условиях внешней среды. Это приводит к резкому подавлению

жизнедеятельности. Диоксины особенно сильно действуют на человека, когда поступают в организм через пищевые цепи.

Диоксины попадают в живые организмы из окружающей среды с водой, воздухом и из почвы. В организм человека и животных они в основном проникают через пищевые цепи (98 % ТХДД и ТХДФ — тетрахлордибензо-«ф»фурана).

Диоксины концентрируются наиболее активно в организме рыб и дойных коров. С рыбной продукцией, молоком и мясом диоксины попадают в организм человека. В молоке коров, содержащихся на фермах, расположенных вблизи мусоросжигательных печей, химических, целлюлозно-бумажных и металлургических заводов, аккумулируется повышенное количество диоксинов. Вблизи этих объектов загрязняются диоксинами главным образом вода и корма.

Диоксины — яды беспорогового действия, поэтому они не должны присутствовать в продуктах питания, воздухе и питьевой воде населенных пунктов. Однако достичь этого, когда в биосфере уже циркулирует огромное количество диоксинов, а действующие производства продолжают поставлять эти ксенобиотики в окружающую среду, практически невозможно. Необходимо ограничить риск, уменьшить вероятность поражения окружающей среды и человека диоксинами. Для этого нужно установить обоснованные нормы «потребления» данных веществ человеком, содержания их в окружающей среде и допустимые нормы техногенных выбросов их теми или иными производствами.

Предельно допустимая норма суточного и соответственно недельного «потребления» диоксинов выражается в диоксиновом эквиваленте (ДЭ), т. е. в пересчете на такую массу 2,3,7,8-ТХДД, систематическое попадание которой в организм приводит к появлению одного пострадавшего на 1 млн человек. Суточное потребление диоксинов не должно превышать 0,1 пг/кг (1 пг = 10^{-12} г). Принято считать непригодными для проживания человека районы, где содержание диоксинов выше 1 мкг ДЭ в 1 кг почвы. Для сельскохозяйственных

территорий действуют более жесткие нормы. Например, в Германии концентрация диоксинов на пастбищах не должна превышать 5 нг/кг почвы, в Нидерландах и Италии — 10, в США — 27 нг/кг почвы (1 нг = 10^{-9} г).

В России установлены максимально допустимые концентрации диоксинов: для пищевых продуктов — 0,036 нг/кг, для молока — 5,2 и для рыбы — 8,8 нг/кг (Федоров, 1993).

Фактическое содержание диоксинов в молоке колеблется от 0,7 до 8,8 нг/кг, в рыбе — от 0,2 до 5,0 нг/кг, в траве — от 0,7 до 8,8 пг/кг.

Из-за наличия диоксинов в пестицидах, особенно в хлорорганических, в некоторых странах (Италия, Россия, США, Швеция) запрещено использование гербицида на основе 2,4,5-Т. Сложнее обстоит дело с производством и применением гербицидов на основе 2,4-Д. В Канаде, например, запрещено применение гербицидов этой группы; в других государствах вопрос решается путем регулирования ассортимента и совершенствования технологии производства.

Бенз(а)пирены (рис. 23.12). Рост онкологических заболеваний объясняется влиянием на здоровье человека факторов окружающей среды. Среди органических веществ, загрязняющих природную среду, широкое распространение получили полициклические ароматические углеводороды и в их числе 3,4-бенз(а)пирен (БП).

Бенз(а)пирен обладает высокой активностью и считается индикатором загрязнения окружающей среды различными полициклическими ароматическими углеводородами. Поступление БП и других представителей этой группы в окружающую среду связано с деятельностью человека. Эти вещества образуются при неполном сгорании топлива и при некоторых видах термической переработки органического сырья, протекающих при температуре 400... 600 °С (коксование углей, крекинг нефти и т. п.). В некоторых случаях БП может попасть в почву и возделываемые культуры при поливе сточными водами коксохимических и нефтеперерабатывающих предприятий. Основным источником загрязнения БП считается ав-

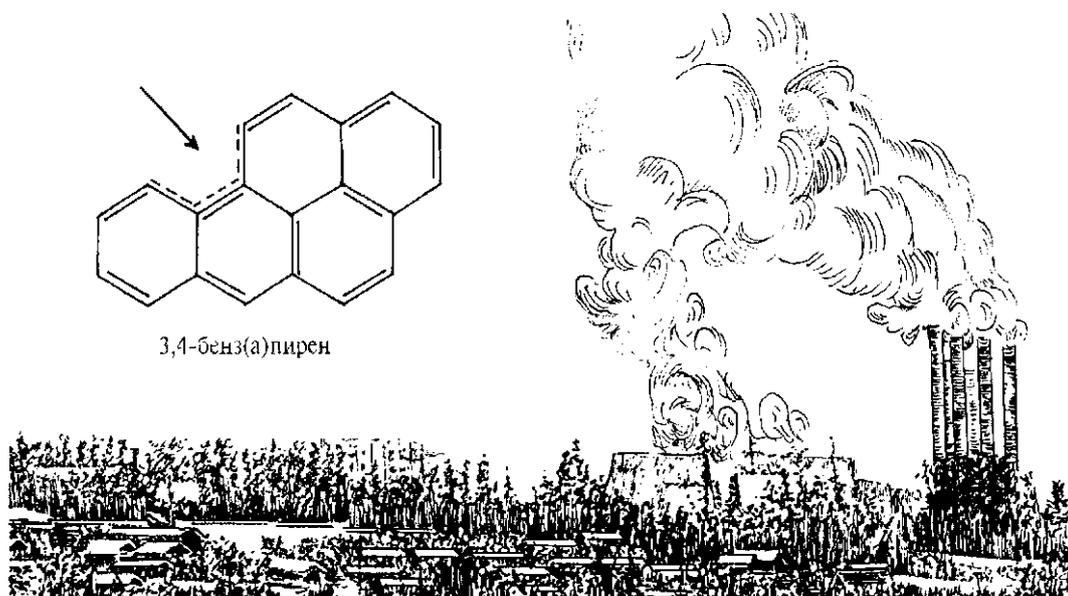


Рис. 23.12. Образование бенз(а)пирена. Стрелкой показано «углубление» в структуре, характерное для многих канцерогенных веществ

томобильный транспорт (сажа и выхлопные газы). Загрязняются не только почвы, но и сельскохозяйственные угодья, а точнее — произрастающие на них растения. Выделяясь с выбросами автотранспорта в атмосферу, БП оседает на поверхности почв различных экосистем и принимает активное участие в физико-химических и биохимических процессах, протекающих в окружающей среде. В результате вблизи дорог образуются зоны загрязнения. БП переносится на расстояние 3...25 км от источников выброса. Загрязнение территории этим веществом носит региональный характер.

Очень высокая стойкость БП и его производных в окружающей среде ведет к постепенному накоплению этих веществ в почве, воде и воздухе, других объектах природы. Загрязнение почвы приводит к аккумуляции БП в сельскохозяйственных культурах. Однако в почве, загрязненной БП, присутствуют микроорганизмы, способные разрушать это вещество с помощью окислительных ферментов. Существует действенный путь биологической очистки почвы, загрязненной БП.

Фоновое количество БП в почвах колеблется в пределах 0,2...12,8 мкг/кг.

Содержание этого вещества в болотных почвах составляет 6,1...8,9 мкг/кг, а в дерново-глеевых и дерново-карбонатных — 11,0...12,8 мкг/кг. Для различных почв в пределах одного региона характерна сильная неоднородность в фоновых уровнях содержания БП. Вблизи автомобильных дорог загрязнение почв БП, поступающим с выхлопными газами, может достигать более 200 мкг/кг.

Высокое содержание БП в почве и в снеге обнаружено на расстоянии 1 км от предприятий — источников выбросов, по мере удаления от них содержание БП снижается. Из атмосферного воздуха и почвы это вещество поглощается растениями, выращиваемыми в зоне активного загрязнения (вблизи предприятий органического синтеза). Возможно загрязнение растений и в 2-километровой зоне вокруг свалок.

Промывание растений в течение 30 мин в проточной горячей воде снижает содержание БП в 1,5...2 раза по сравнению с исходным. Однако эта процедура эффективна лишь в том случае, если загрязнение растений произошло воздушным путем, при поступлении БП в растения через корни промывание бесполезно.

Уровень загрязнения продукции БП зависит в первую очередь от общего загрязнения окружающей среды (воздух, вода, почва) и от особенностей технологии приготовления пищевых продуктов.

Несмотря на то что по широкому спектру объектов надежные ПДК для БП не разработаны, необходимо помнить об опасности накопления этого вещества в объектах природы, а в итоге — в сельскохозяйственной продукции. Прежде всего следует стремиться к устранению причин и источников поступления данного загрязняющего вещества в окружающую среду. Содержание БП в некоторых продуктах питания (мкг/кг) колеблется в следующих пределах:

Капуста	12,6...28,5
Картофель	1,8...23,5
Зерно	0,08...1,44
Томаты	0,05...0,22
Рыба	0,3...3,9
Молоко	0,01...0,02

Наибольшее количество БП накапливают капуста белокочанная и картофель, наименьшее — зерно, томаты, молоко.

В органах растений БП распределен неравномерно. В семенах зерновых культур содержится приблизительно в 100 раз меньше этого вещества, чем в листьях, стеблях, корнях. Максимальное количество БП накапливается в кожуре клубней картофеля — 0,34... 3,72 мкг/кг, а в мякоти — 0,09...0,61 мкг/кг.

В семенах подсолнечника БП сосредоточен в основном в лузге, в семенной оболочке его примерно в 9 раз меньше, а минимальное количество находится в ядре. Основной источник поступления БП в растительное масло — лузга, 20...30 % которой перерабатывается в производственном цикле. Токсикант при этом продуцируется и в результате неполного сгорания топлива при сушке сырья. Одна из действенных мер уменьшения содержания БП и других полициклических ароматических углеводородов в масле, муке — отказ от таких приемов сушки, которые приводят к поступлению БП в сырье из продуктов сгорания. Следует переходить на бесконтактные способы сушки. Снизить

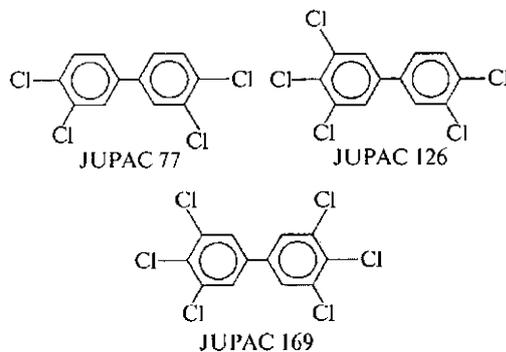
содержание БП в растительном масле и маргарине можно и при удалении лузги, поскольку она содержит наибольшее количество этого вещества.

Для борьбы с эрозией почв предложена обработка территорий сланцепродуктами — нэрозинами. Нэрозины, получаемые из эстонских сланцев, содержат БП. Обработка почвы нэрозинами способствует накоплению БП не только в верхних, но и в более глубоких слоях почвенного профиля. Как свидетельствуют наблюдения, при этом происходила концентрация БП в семенах подсолнечника, в зерне же злаковых культур токсиканта не оказалось. Содержание БП в семенах подсолнечника находилось на уровне 0,4... 1,1 мкг/кг, а в подсолнечном масле — 1,0...5,0 мкг/кг. Использование нэрозина в дозе 1,5 т/га при выращивании зерновых культур безопасно.

Полихлорбифенилы (ПХБ). Полихлорированные бифенилы (арохлоры, канехлоры, соволы, фенохлоры, хлорфены) находят активное применение с конца 20-х гг. XX в. в качестве компонента масел, смазок и гидравлических жидкостей, адгезинов и типографских красок; их используют при производстве пластмасс, в электропромышленности и т. д.

Первоначально ПХБ отождествлялись с хлорорганическими пестицидами и их метаболитами. Однако позднее они были выделены в класс самостоятельных загрязняющих веществ промышленного происхождения.

Структура типичных представителей ПХБ:



Мировое производство ПХБ превышает 4 млн т. Из этого объема лишь

53 % используется в закрытых и 16 % — в условно закрытых системах, которые можно подвергнуть какому-либо контролю. Остальная масса ПХБ в той или иной форме оказывается в окружающей среде. В результате около 400 тыс. т ПХБ циркулируют в глобальной экосистеме. В окружающую среду (особенно в реки, заливы, эстуарии) попадает примерно половина производимого количества ПХБ. Эти вещества обнаруживаются практически повсеместно.

ПХБ, как и ДДТ, — труднорастворимые химические препараты, широко распространённые в окружающей среде. На открытом воздухе период полураспада ПХБ может составлять 10...100 лет, в почве — примерно 5 лет. ПХБ обнаружены в организмах рыб, морских животных, птиц, в яйцах, маргарине, в материнском молоке и в жировых тканях человека. У человека ПХБ вызывают поражение печени, селезенки и почек, помутнение хрусталика, изменение пигментации и нервные расстройства. Токсическое действие ПХБ усиливается при взаимодействии их с ДДТ.

Воздействие ПХБ на человека возникает обычно при отсутствии надлежащих мер безопасности в процессе работы с химической продукцией. Это может происходить, например, при изготовлении трансформаторов, конденсаторов и других электротехнических устройств. Так, при работе с ПХБ на НПО «Конденсатор» (г. Серпухов, Московская обл.) не соблюдали нормы безопасности, стоки завода без очистки от ПХБ сбрасывали непосредственно в ручей Боровлянка. Жителей города об опасности не уведомили, и они использовали воду ручья при производстве сельскохозяйственной продукции. ПХБ были обнаружены в продуктах питания, которые продавали на городском рынке. Например, яйца кур из частного сектора, расположенного в зоне влияния завода, содержали ПХБ в количествах, в 100...200 раз превышающих фоновое значение.

Анализ различных органов и тканей рыбы, выловленной в Оке, свидетельствует о ее загрязнении ПХБ. При этом у густеры наблюдалось равномерное распределение ПХБ по органам и тканям, у плотвы же и леща ПХБ накапли-

вались преимущественно в половых железах (табл. 23.12).

23.12. Содержание ПХБ в органах и тканях рыб из реки Оки, мкг/кг

Рыба	Органы и ткани		
	печень	половые железы	мышцы
Густера	0,11	0,06	0,09
Плотва	Нет	0,57	Нет
Лещ	0,07	0,28	Нет

Известен случай массового поражения людей в Японии (1968 г.), вызванный утечкой жидкого ПХБ из холодильного агрегата на одной из фабрик. ПХБ попали в резервуар с рисовым маслом. Отравленное рисовое масло поступило в торговую сеть в качестве продукта питания и корма для животных. Итог: сначала погибло около 100 тыс. кур, а вскоре примерно у тысячи человек появились симптомы отравления. Позднее были обнаружены тяжелые поражения внутренних органов и развитие злокачественных опухолей.

Небезынтересно также, что голодание и охлаждение стимулируют кратковременное, но значительное повышение содержания ПХБ в крови, что может стать причиной повреждения печени.

Кардинальное решение проблемной ситуации — использование ПХБ только в замкнутых производственных системах.

Регуляторы роста растений. Регуляторы роста растений — химические соединения с высокой биологической активностью. Их применяют в небольших количествах (от миллиграммов до нескольких граммов на 1 га), чтобы повлиять на рост, развитие и жизнедеятельность растений, облегчить уборку урожая, улучшить его качество и сохранность и т. д.

Регуляторы роста делятся на природные и синтетические. Природные регуляторы — это соединения, присущие растениям и выполняющие роль фитогормонов (абсцизовая кислота, ауксины, гиббереллины, цитокинины, этилен и др.). Названные соединения не опасны для человека, поскольку в процессе эволюции у него выработались механизмы их биотрансформации. К

сожалению, возможность получения естественных регуляторов роста растений в требуемых объемах ограничена из-за трудностей в синтезе и высокой стоимости, поэтому наибольшее применение получили синтетические вещества.

Синтетические регуляторы роста производят химическим или микробиологическим путем. В основном они являются малостойкими веществами с периодом полураспада около 1 мес.

Степень опасности большинства искусственных регуляторов роста для растительных и животных организмов практически не изучена. Отсутствует систематизированная информация о механизме действия этих препаратов на растения и животных. Между тем установлена способность накопления некоторых регуляторов в организме.

Низкие концентрации регуляторов роста обычно не обнаруживаются с помощью применяемых методов химического анализа (газовая хроматография, хроматография в тонком слое). В то же время более чувствительный иммуноферментный анализ позволяет установить наличие регуляторов роста. Иммуноферментный анализ свидетельствует об изменении процессов синтеза белка, приводящем к появлению дефектных белков. Предполагается также возможность негативного влияния регуляторов, связанная с нарушением внутриклеточного обмена и образованием токсичных соединений. Кроме того, остаточные количества регуляторов роста растений в продовольственном сырье и пищевых продуктах могут сами проявлять токсичные свойства.

Регуляторы роста растений представляют опасность для человека, поэтому необходимо создание таких технологий, которые исключали бы попадание этих веществ в продукты питания.

Лекарственные средства. Пищевые продукты могут загрязняться различными лекарственными веществами, применяемыми для лечения и профилактики заболеваний животных, регуляции беременности, улучшения усвояемости кормов, ускорения роста, сохраняемости продуктов и пр. Некоторые из этих веществ могут достаточно долго сохра-

няться в продуктах животноводства и попадать в организм человека, представляя угрозу для здоровья.

Особенно опасны антибиотики, сульфаниламидные препараты, нитрофураны, гормональные препараты.

Около половины производимых в мире антибиотиков находят применение в животноводстве. В Великобритании, например, почти вся птица, 90 % свиней и стельных коров, 60 % крупного рогатого скота получают корма, содержащие антибиотики. В США более 90 % кормов для свиней и птицы, 82 % кормов для телят содержат антибиотики.

В нашей стране для кормовых и ветеринарных целей в 1990—1995 гг. использовали препараты 58 наименований. Как правило, антибиотики добавляют в корм в дозе 50...200 г на 1 т кормовой массы. Используют их и в качестве добавок в лед при транспортировке рыбы, в качестве консервантов в колбасные оболочки и т. д.

Остатки антибиотиков в пищевых продуктах могут вызвать аллергические реакции, дисбактериоз, подавление ферментов.

Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) предложены нормативы по содержанию антибиотиков в продуктах животноводства (табл. 23.13).

23.13. Предельно допустимые нормы содержания антибиотиков в животноводческих продуктах, мкг/г или мкг/мл (Кольцов, 1995)

Антибиотик	Яйцо	Молоко	Мясо
Пенициллин	0,06	0,006	0,018
Стрептомицин	1	0,2	0,5
Неомицин	0,5	0,15	0,2
Хлортетрациклин	0,05	0,02	0,05
Окситетрациклин	0,25	0,1	0,3
Тетрациклин	0,5	0,1	0,3
Эритромицин	0,3	0,04	0,3
Олеандомицин	0,3	0,15	0,1
Спирамицин	—	—	0,025
Тилозин	—	—	0,2
Новобиоцин	0,5	0,15	0,1
Нистатин	7,1	1,1	4,3

Замечено, что чем чаще применяют разнообразные антибиотики, тем менее эффективно они действуют. Увеличение числа устойчивых штаммов микроорганизмов прямо пропорционально повышению числа антимикробных средств. Перспектива — поиск соедине-

ний, способствующих образованию антимикробных веществ.

Сульфаниламиды применяют для лечения и профилактики заболеваний сельскохозяйственных животных и птицы, а поэтому не исключена возможность их попадания в пищевые продукты, особенно при нарушении регламентов применения. Сульфаниламиды по сравнению с антибиотиками менее эффективны, но они более дешевые и доступные.

В России содержание сульфаниламидов в продовольственном сырье и пищевых продуктах не регламентируется медико-биологическими требованиями. В США допустимый уровень содержания этих веществ в мясных продуктах составляет 0,1 мг/кг, в молоке — 0,01 мг/л. Между тем в продуктах питания сульфаниламиды обнаруживаются в высоких концентрациях.

Нитрофураны обладают высокой антимикробной активностью, их применяют для борьбы с инфекциями, устойчивыми к антибиотикам и сульфаниламидам, как антимикробные добавки к корму животных и птиц. Выведение нитрофуранов из организма происходит с различной скоростью в зависимости от препарата и вида животного. В связи с этим существуют определенные сроки отмены препаратов перед убоем, составляющие обычно 5 дней. В некоторых случаях этот временной разрыв увеличивается до 17...20 дней.

Допустимые концентрации нитрофуранов в пищевых продуктах не установлены. Считается, что эти вещества не должны содержаться в пище человека. Целесообразно также регламентировать содержание нитрофуранов в кормах.

Есть сведения о мутационном эффекте нитрофуранов в концентрациях более 25 мкг/кг. Между тем уровень содержания их в некоторых пищевых продуктах бывает значительно выше, что представляет угрозу для здоровья человека.

В некоторых продуктах питания животного и растительного происхождения содержатся природные гормоны и гормоноподобные соединения. Однако количество их весьма незначительно, и они не оказывают заметного влияния на

организм человека. Существует и другой путь попадания гормональных препаратов в пищу — использование этих веществ для стимуляции роста животных, улучшения усвояемости кормов, ускорения полового созревания, регламентации сроков беременности и т. д. Некоторые гормональные препараты обладают анаболической активностью. Естественные гормональные вещества — инсулин и соматропин — достаточно быстро метаболизируются в организме и выводятся в виде неактивных веществ, а также разрушаются при приготовлении пищи. Однако их применение ограничено из-за высокой стоимости. В практике сельскохозяйственного производства преимущественно применяют искусственные гормональные препараты, эффективность которых примерно в 100 раз выше, чем естественных. Искусственные препараты более устойчивы, плохо метаболизируются и накапливаются в организме животных в значительных количествах. Особенно эффективен и широко применяется диэтилстильбэстрол (несмотря на мутагенные и канцерогенные свойства). Из-за трудоемкости методов и дороговизны приборов и оборудования возникают проблемы с регулярным определением содержания гормональных препаратов. Между тем немногочисленные полученные данные свидетельствуют о загрязнении продуктов животноводства этими веществами.

В соответствии с медико-гигиеническими требованиями установлены допустимые уровни содержания некоторых гормональных препаратов в продуктах питания: мясо сельскохозяйственных животных, птицы и продукты переработки — эстрадиол-17 β и тестостерон — соответственно 0,0005 и 0,015 мг/кг, молоко и молочные продукты, казеин — эстрадиол-17 β на уровне 0,0002 мг/кг, масло сливочное — 0,0005 мг/кг.

Применение широкого спектра лекарственных препаратов в практике сельскохозяйственного производства требует строгого соблюдения гигиенических правил, направленных на максимальное снижение содержания рассмотренных веществ в пищевых продуктах.

В связи с высокой долей импортного

продовольствия (ассортимент применяемых препаратов за рубежом особенно велик) требуется тщательный контроль содержания тех или иных препаратов в пищевых продуктах.

Продукты жизнедеятельности вредителей. Вредители не только снижают продуктивность сельскохозяйственных культур, но и существенно ухудшают качество урожая. При этом изменяются химический состав и вкусовые свойства продуктов питания.

Вредители причиняют прямой и косвенный ущерб. К прямому ущербу относятся потери массы продукции, ухудшение ее качества, снижение посевных качеств семенного материала, загрязнение продуктами жизнедеятельности, в том числе экскрементами. Косвенные повреждения связаны с тем, что вредители могут вызывать самосогревание зерна и перемещение влаги в зерновой массе. Вредители способствуют распространению микрофлоры, иногда переносят возбудителей болезней человека или сами вызывают болезни человека и животных.

Гусеницы плодовой гусеницы, поражая плоды яблони, выделяют экскременты, в составе которых содержатся вещества, обладающие канцерогенным действием. Эти вещества называют инсектотоксинами. *Инсектотоксины* — продукты жизнедеятельности вредителей, выделяемые ими при поражении растений и обладающие токсическим (канцерогенным) действием на человека и животных.

Амбарный долгоносик поражает зерно ржи, пшеницы, ячменя, кукурузы и продукты его переработки. Поврежденное зерно непригодно для употребления в пищу, так как может вызывать расстройство органов пищеварения, воспаление кишечника. При поражении зерна малым мучным хрущачом мука становится комковатой, приобретает неприятные вкус и запах. Такая мука вредна для человека и животных и подлежит уничтожению. Личинки зернового точильщика проникают внутрь зерновки, развиваются там, выделяют экскременты. При сильном заражении в зерновой массе накапливается много фекальной пыли, которая имеет медово-плесенный запах, характерный для

заражения зерна точильщиком. Зерновой точильщик повреждает зерно пшеницы, риса, овса, ржи, сорго, кукурузы и гречихи. В зерне с повышенной влажностью развивается мучной клещ. Зерно, поврежденное клещом, имеет неприятный медовый запах и вредно для человека.

Широко распространенный вредитель гороха — гороховая зерновка. Личинка жука внедряется в горошину и там развивается до жука. Поврежденное зерно, заполненное экскрементами, нельзя использовать в пищу и на корм животным, так как в нем содержится вредный алкалоид — кантаридин.

Для уменьшения повреждения продукции ученые выводят устойчивые к вредителям сорта. Важно тщательно контролировать зараженность различных объектов, предупреждать заражение продукции, создавать условия, исключающие или ограничивающие развитие вредных организмов.

Система профилактических мероприятий, направленных на сокращение потерь продукции от вредителей, должна предусматривать: хранение зерна и продуктов его переработки только в специальных хранилищах; полное соответствие таких хранилищ требованиям оптимального хранения продукции; постоянную очистку и предварительную подготовку хранилищ для хранения продукции; удаление из хранилищ отходов, сжигание или захоронение их в специально отведенных местах; максимальную очистку от вредителей и соответствующую обработку продукции перед ее закладкой на хранение.

Рекомендуемые меры по предупреждению заражения продукции вредителями заметно сдерживают расселение вредных организмов и существенно снижают вероятность загрязнения и порчи зерна продуктами жизнедеятельности вредителей.

Афлатоксины и другие микотоксины. *Микотоксины* — это токсичные продукты жизнедеятельности различных видов микроскопических грибов. Микотоксины относятся к классу природных токсинов, способных вызывать тяжелые заболевания животных и человека.

В результате поражения грибами ежегодно при хранении портится до

30 % производимого зерна. При этом испорченное зерно зачастую используют на корм скоту, что может привести к плачевным результатам. Так, в 60-х гг. XX в. в Великобритании погибло свыше 50 % поголовья индеек в результате заболевания, вызванного продуктами жизнедеятельности плесневого гриба *Aspergillus flavus*, которыми были заражены корма. Эти вещества не только токсичны, но и обладают канцерогенным действием.

Среди известных микотоксинов лучше всего изучены афлатоксины — токсины, которые накапливаются в тканях или органах отдельных видов растений, особенно произрастающих в тропическом поясе. Известны два основных афлатоксина, названных В¹ (обладает большой канцерогенностью) и G¹. Аккумулируются афлатоксины в продуктах питания, изготовление которых связано с концентрированием белков.

Микотоксины представляют собой пятичленное многоядерное гетероциклическое соединение. Грибные токсины в большинстве своем — яды экзогенного действия, т. е. выделяются и находятся в субстрате, на котором растет гриб, а не в структуре гриба. Микотоксины обладают очень высокой устойчивостью к нагреванию, длительному ультрафиолетовому облучению; некоторые устойчивы к действию кислот и щелочей.

Микробные токсины вредны для клетки уже в незначительных концентрациях. ПДК их составляет 0,5 мкг/кг. Между тем встречаются штаммы грибов, продуцирующие токсины в концентрации 40 000 мг/кг. Механизм действия микотоксинов заключается в блокировке жизненно важных аминокислот (аланина, тирозина, триптофана) и образовании аминосоединений (аминов). Последние даже в незначительных количествах могут сильно воздействовать на кровеносные сосуды. У растений под влиянием токсичных веществ гриба теряется тургор, обесцвечиваются листья, отмечается побурение сосудов и ухудшаются обменные процессы. Микотоксины — это плазматические яды.

На рост грибов и образование токсинов влияют температура среды, влажность воздуха, тип субстрата, его влажность и продолжительность хранения.

Большое значение имеет наличие определенных химических веществ. Так, повышенное количество липидов (жиров) в семенах масличных культур увеличивает подверженность их загрязнению афлатоксинами. Высокая устойчивость спор, находящихся в почве (на глубине до 80 см), способствует повсеместному распространению плесневых грибов (в частности, в воздухе, растениях, зерне).

В организм человека микробные токсины могут попадать с продуктами питания растительного и животного происхождения (причем последние менее опасны в связи с распадом и частичной инактивацией ядов в организме животных). Остаточные количества микотоксинов в продуктах вызывают канцерогенный, мутагенный и тератогенный эффекты (табл. 23.14).

23.14. Содержание афлатоксина В, в некоторых продуктах питания, зараженных плесенью

Продукт питания	Гриб, вызывающий плесень	Содержание афлатоксина В ¹ , мкг/кг
Выпечка	<i>Aspergillus glaucus</i>	100
Земляной орех	<i>Aspergillus flavus</i>	1100
Апельсины	<i>Penicillium expansum</i>	5...50
То же	<i>Penicillium citromyces</i>	5...50
Лимоны	<i>Penicillium digitatum</i>	20...30
Персики	<i>Aspergillus niger</i>	5
Сало	<i>Aspergillus flavus</i>	100...5000
Томатный сок	<i>Aspergillus flavus</i>	20
Белый хлеб	<i>Penicillium glaucus</i>	20
Хлеб домашней выпечки	<i>Aspergillus glaucus</i>	10

Субстратом для развития плесневых грибов служит различная сельскохозяйственная продукция. Эти грибы можно разделить на две экологические группы: полевые грибы и плесени хранения. К первой группе относятся грибы, которые поражают семена растений в поле на корню или в валках. Развитие грибов на зерновых культурах происходит, когда влажность зерна находится в равновесии с относительной влажностью воздуха и составляет более 90 %. Зерно с такой влажностью хранят обычно в течение непродолжительного времени. В некоторых районах в отдельные годы уборка в сырую погоду и отсутствие сушилок приводят к тому, что большое количество зерна с высокой влажностью складывается прямо на земле в бурты. Такое зерно быстро портится в результате поражения грибами.

Нигроспориоз у кукурузы вызывает гриб *Nigrospora oryzae*. Зерно пораженных початков имеет низкую всхожесть и сильно плесневеет. Гриб выделяет токсические вещества, вызывающие у животных тяжелое заболевание.

К возбудителям плесеней хранения относятся в основном грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichothecium*. При влиянии плесневых грибов на зерно снижается всхожесть, изменяется цвет, затем образуются микотоксины, происходят самосогревание, плесневение, слеживание зерна и полное разложение. В несколько десятков раз возрастает количество грибов, выделяющих опасные токсины, на зерне, зараженном насекомыми.

Для предотвращения поражения зерна плесневыми грибами, продуцирующими микотоксины, необходимо строго соблюдать нормы высева, обеспечивающие оптимальную густоту стеблестоя; вносить в рекомендуемых дозах азотные удобрения; обрабатывать посевы фунгицидами при опасности их сильного поражения грибами рода *Fusarium*; хранить зерно при влажности, не допускающей развитие грибов. Наилучшие результаты дает сочетание низкой температуры и низкой влажности. Зерно на

хранение необходимо закладывать с влажностью на 1...2% ниже критической, при этом резко замедляются все физиологические процессы в самом зерне, затормаживается развитие микрофлоры.

При определенных условиях афлатоксины могут попадать в корма для различных животных и в пищу человека. Например, при скармливании животным заплесневелого зерна риса у них развивался рак печени, поскольку афлатоксины в большей степени накапливаются именно в печени. Чувствительность к токсическому действию афлатоксинов зависит от вида животных. Относительно менее восприимчивы овцы, наиболее чувствителен молодняк птицы (утки, куры, индейки), а также кролики, промежуточное положение занимают свиньи.

Среди микотоксинов известен стригматоцистин, способный вызывать заболевания печени. Канцерогенным действием обладает микотоксин, выделенный из *Streptomyces hepaticus* и называемый элаиомицином. По своему действию он напоминает нитрозоамины. Продукт жизнедеятельности гриба *Fusarium* — фузариотоксин, накапливающийся в хранящемся зерне и способ-

23.15. Предельно допустимые концентрации микотоксинов, мг/кг (Справочник ПДК вредных веществ в пищевых продуктах и среде обитания, 1993)

Продукт	Афлатоксин В ¹	Афлатоксин М ¹	Патулин	Зеараленон	Т-2 токсин	Дезоксинизаленон
Зерно и зерновые продукты (мука, крупы)	0,005	Н/н	Н/Н	1,0	0	1,0 (пшеница сильных и твердых сортов) 0,5 (остальная пшеница)
Молоко и молочные продукты	Н/д (<0,001)	0,0005	Н/н	Н/н	Н/н	Н/н
Мясо и мясопродукты	0,005	Н/н	Н/н	Н/н	Н/н	Н/н
Орехи и масличные, жиры и масла	0,005	Н/н	Н/н	1,0	Н/н	Н/н
Кофе, чай, какао, кондитерские изделия	0,005	Н/н	Н/н	Н/н	Н/н	Н/н
Фруктовые и овощные соки и пюре	0,005	Н/н	0,05	Н/н	Н/н	Н/н
Белковые изоляты	0,005	Н/н	Н/н	1,0	Н/н	Н/н
Продукты детского и диетического питания (все виды)	Н/д (<0,001)	Н/д (<0,0005)	Н/д (<0,01)	Н/д (<0,04)	Н/д (<0,05)	Н/д (<0,2)

Примечание. Н/н — не нормируется; Н/д — не допускается.

ный вызывать заболевания животных и человека.

При поражении семян подсолнечника белой гнилью (возбудитель — гриб *Sclerotinia sclerotiorum*) потери урожая достигают 50 %. При этом ядро семян приобретает горьковатый вкус из-за накопления токсинов гриба. Кроме подсолнечника белой гнилью поражаются до 100 видов растений (в частности, фасоль и кукуруза).

Меры борьбы: выведение устойчивых сортов и гибридов, соблюдение севооборотов и возвращение подсолнечника на прежнее место не ранее чем через 8...9 лет, удаление послеуборочных остатков, 2...3-кратное лущение и глубокая зяблевая вспашка.

В таблице 23.15 приведены ПДК микотоксинов, которыми целесообразно руководствоваться в практической работе.

Для защиты от афлатоксинов и других микотоксинов очень важно исключить условия, благоприятствующие образованию плесневых грибов на продуктах питания, поскольку рассматриваемые токсиканты устойчивы к действию температуры и не разрушаются при кипячении, поджаривании, да и при обработке в автоклаве. Оптимальные для хранения условия — сухой воздух и температура до 10 °С.

А. С. Кольцов (1995) систематизировал химические и биологические загрязняющие вещества, расположив их по степени убывания экологической опасности:

Химические

Металлы

Ртуть
Свинец
Кадмий
Сурьма
Мышьяк
Хром
Кобальт
Никель
Олово

Пестициды, метаболиты и продукты их деградации

Инсектициды:

хлорорганические
фосфорорганические

Дитиокарбаматы

Метилбромид

Радиоизотопы

Цезий-137
Стронций-90
Йод-131

Другие вещества

Нитриты
Нитраты
N-нитрозосоединения
(включая N-нитрозоамины)
Полициклические ароматические углеводороды
Полигалогенные дифенилы и терфенилы (включая полихлорированные дифенилы)
Стимуляторы роста животных, антибиотики
Мономеры хлорвинила
Селен
Фториды
Асбест

Биологические

Бактерии и бактериальные токсины

Bacillus cereus
Токсин *Clostridium botulinum*
Clostridium perfringens
Сальмонеллы
Шигеллы
Энтеротоксины стафилококковые
Vibrio parahemolyticus
Микотоксины
Афлатоксины В₁, В₂, G₁, G₂, М,
Охратоксин А
Патулин
Стеригматоцистин
Трихотецены (включая Т-2 токсин, НТ-2 токсин, диацетоксискиренол, дезоксиниваленол)

Цитринин

Зеараленон

Паразиты

Cysticercus bovis
Echinococcus granulosus
Fasciola hepatica
Fasciola gigantica
Paragonimus Westernomi
Taenia saginata
Taenia solium
Trichinella spiralis

Вирусы

Вирус гепатита А
Арбовирусы

23.3. СПОСОБЫ ИСКЛЮЧЕНИЯ ИЛИ МИНИМИЗАЦИИ НЕГАТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Связь «чистоты» сельскохозяйственной продукции с состоянием почвенного покрова. Используя почвенные ресурсы, человек получает примерно 90...94 % продуктов питания. И «чистота» этих продуктов определяется свойствами почвы, ее самоочищающей и буферной способностями, которые в значительной степени зависят от содержания гумуса, кислотности почвы, гранулометрического и минералогического составов, окислительно-восстановительных условий, плотности почвы.

Оценивая основные почвенно-экологические факторы, определяющие бе-

зопасность сельскохозяйственной продукции, необходимо принимать во внимание следующее.

Гумус в почве выполняет ряд экологических функций. Обладая высокой сорбционной способностью, гумусовые вещества образуют с токсикантами (например, с тяжелыми металлами) малоподвижные соединения и тем самым предотвращают поступление токсикантов в сельскохозяйственные продукты. Так, гуминовые кислоты почвы, содержащей 4 % гумуса, могут связать (в расчете на 1га): 17 929 кг железа, 4500 кг свинца, 1517 кг меди, 1015 кг цинка, 913 кг марганца.

Гумус не только сорбирует вещества, но и активизирует почвенную биоту, нормализует структуру микробного ценоза, блокирует таким образом появление микотоксинов и загрязнение ими продуктов питания.

В связи с этим на почвах подзолистого типа, бедных органическим веществом, опасность загрязнения сельскохозяйственной продукции значительно выше, чем на черноземах.

Экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции зависит и от кислотности почвы (рН), влияющей на растворимость токсикантов и их поступление в растения. В почвах, имеющих реакцию, близкую к нейтральной, опасность загрязнения сельскохозяйственной продукции (например, тяжелыми металлами) снижается. При увеличении же кислотности, как и щелочности, растворимость тяжелых металлов возрастает и миграция их в растения увеличивается. Как и гумус, рН почвы влияет на структуру микробного ценоза, снижая или повышая опасность микотоксинового загрязнения пищевых продуктов. Учет фактической кислотности почв при размещении сельскохозяйственных культур и ликвидация избыточной кислотности с помощью известкования очень важны для получения безопасной продукции.

Гранулометрический и минералогический составы почвы влияют на емкость катионного обмена, что обуславливает различную подвижность токсикантов, а следовательно, разную степень поступления их в сельскохозяйственную продукцию. Так, на почвах

тяжелого гранулометрического состава, имеющих большую площадь поверхности частиц, емкость катионного обмена выше, что уменьшает подвижность токсиканта и поступление его в пищевые продукты.

Сельскохозяйственная продукция, выращенная на почвах, в состав которых входят минералы с невысокой емкостью катионного обмена (например, каолиниты), легче загрязняется токсикантами, чем выращенная на почвах, представленных минералами монтмориллонитовой группы.

На переувлажненных почвах (глееватых, глеевых) увеличивается опасность загрязнения сельскохозяйственной продукции токсикантами (тяжелыми металлами) вследствие увеличения их подвижности. Избыток воды в почве способствует появлению в ней металлов с низкой валентностью в более растворимой форме. Использовать для выращивания сельскохозяйственных культур почвы с нарушенным гидрологическим режимом следует только после мелиоративных работ.

Уплотнение почвы увеличивает подвижность токсикантов (тяжелых металлов), что делает опасным выращивание сельскохозяйственных культур. Так, увеличение плотности почвы с 0,6...1,0 до 1,3...1,8 г/см³ усиливает подвижность тяжелых металлов в несколько раз.

Определенную роль в вопросах «здоровья» почвы, а следовательно, качества выращиваемой сельскохозяйственной продукции играют населяющие почву живые организмы, особенно микробиота. При попадании токсикантов в почву дальнейшая судьба этих веществ зависит от активности и структуры микробных ценозов, которые определяют самоочищающую способность почвы. Эта способность тесно взаимосвязана с рассмотренными ранее почвенно-экологическими факторами.

Не случайно, например, превращения пестицидов с наибольшей интенсивностью происходит в черноземах, характеризующихся высоким содержанием гумуса, благоприятной реакцией среды, повышенной биологической активностью, определенной структурой микробного ценоза и микробным разнообразием. Черноземные почвы обла-

дают и способностью противостоять действию поступающих в почву токсикантов, т. е. хорошей буферностью.

Таким образом, сохранение и увеличение содержания гумуса в почве, оптимизация почвенной кислотности, осушение и разуплотнение почвы — важные условия выращивания экологически безопасной сельскохозяйственной продукции.

Приемы снижения негативного действия токсикантов. В результате воздействия техногенных факторов, нарушения технологической и экологической дисциплины на энергетических, промышленных, сельскохозяйственных и других предприятиях более 10 млн га сельскохозяйственных земель в России в той или иной степени подвержены загрязнению тяжелыми металлами, радионуклидами и другими токсикантами.

Значительные площади наиболее загрязненных почв на многие годы безвозвратно выпали из сельскохозяйственного оборота. Однако многолетние исследования, отечественный и зарубежный опыт позволяют рекомендовать производству достаточно выверенные приемы, обеспечивающие полную или частичную рекультивацию загрязненных почв. Это химическая, физико-химическая и биологическая мелиорация, а также специальные агротехнические мероприятия.

Использование в качестве мелиорантов известковых материалов, калийных удобрений и других химических средств дает возможность:

довести реакцию среды (рН почвы) до уровня, когда подвижные соединения тяжелых металлов, радиоактивных элементов и других токсикантов переходят в недоступную или менее доступную для сельскохозяйственных растений форму;

создать в почвенном растворе повышенную концентрацию элементов-антагонистов (например, калия, фосфора, кальция и др.) и таким образом сократить поступление токсичных элементов в выращиваемые растения;

в результате химической реакции в почвенном растворе перевести токсичные соединения в менее опасные формы.

Физико-химическая мелиорация основана на способности различных мелиорантов адсорбировать токсичные элементы и удерживать их на поверхности или в структуре кристаллической решетки, что в значительной степени блокирует поступление токсикантов в сельскохозяйственные растения. К таким мелиорантам относятся активированный уголь, цеолиты, монтмориллониты, вермикулит и т. д. Примером физико-химической мелиорации может служить использование ионитов, действие которых заключается в обмене ионов нетоксичных элементов (веществ) на токсичные.

Сложилось несколько направлений биологической рекультивации. Среди них выращивание растений — концентраторов токсичных веществ (ежа сборная, волоснец песчаный, гречиха сахалинская и т. д.). С помощью этих растений можно извлекать токсиканты из почвы. Повышение биологической активности почвы в результате внесения органических удобрений, известкования, разуплотнения почвы способствует переводу более токсичных соединений в менее токсичные.

Специальные агротехнические мероприятия включают удаление или глубокую заделку загрязненного слоя, землевание и др.

Рассматривая способы получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции, следует обратить внимание на грамотное использование средств химизации.

Как уже отмечалось, минеральные и органические удобрения, химические мелиоранты, препараты для защиты растений, ретарданты и другие средства химизации влияют на состояние агроэкосистем, а в конечном счете — на качество сельскохозяйственной продукции. Применять их следует на строго научной основе. Как писал классик отечественной агрохимии Д. Н. Прянишников, избытком химических удобрений нельзя восполнить недостаток агрономических знаний. Необходимо строго соблюдать дозы, способы, сроки, формы внесения удобрений в зависимости от потребности культуры, содержания питательных элементов в почве, а также от планируемой урожайности.

Во избежание усиления минерализационных процессов, вызывающих снижение содержания гумуса в почве под влиянием минеральных удобрений, целесообразно использовать больше органических удобрений. Оптимальное соотношение органических и минеральных удобрений — 4:1. При внесении минеральных удобрений, особенно фосфорных, необходимо знать их химический состав (содержание тяжелых металлов фтора, наличие или отсутствие радиоактивных элементов). Для снижения почвенной кислотности, усиливающейся при внесении физиологически кислых удобрений, требуется известкование почв.

Особую осторожность следует проявлять при использовании химических средств защиты растений. Здесь необходима осведомленность обслуживающего персонала об экологической опасности пестицидов, а также строгое соблюдение соответствующих технологических регламентов.

Должное внимание следует уделять грамотной организации экологически безопасной утилизации отходов животноводческих комплексов. Осуществлявшийся без учета экологических требований перевод животноводства на промышленную основу негативно повлиял на окружающую природную среду. В результате строительства крупных комплексов по производству молока и откорму скота возникла реальная угроза загрязнения экосистем отходами животноводства и их деградации. И такого рода примерам нет числа. (Например, в Ленинградской области на свиномкомплексе «Новый свет» с поголовьем 156 тыс. ³ свиней скопилось порядка 15 млн м³ навозной жижи.)

Традиционное использование отходов в виде удобрений не всегда экономически оправдано, если их приходится возить на расстояние более 20 км от комплекса. Внесение же навоза только на близлежащие поля приводит к загрязнению территории, создавая, в свою очередь, опасность избыточного накопления нежелательных ингредиентов в выращиваемых сельскохозяйственных культурах.

Необходимо разбирать «груз» накопившихся проблем утилизации отходов.

Крупные животноводческие комплексы необходимо обеспечить навозохранилищами, пунктами по обеззараживанию навозной массы, цехами по приготовлению органических удобрений. Следует выдерживать нагрузки поголовья скота на 1 га; объем навозной жижи, вносимой на 1 га, не должен превышать 50 м³ в год.

Внедрение системы гидросмыва навоза неизбежно приводит к повышению себестоимости продукции. Сказываются в первую очередь затраты на строительство дорогостоящих прудов-накопителей для стоков. (К середине 80-х гг. XX в. обеспеченность такими емкостями в целом по стране составляла менее 20 % потребной.) С точки зрения экологической чистоты продукции более перспективным представляется возврат к подстилочному навозу.

Определенное значение для выращивания экологически безопасной продукции имеет использование сточных вод в качестве удобрений и для орошения. Сточные воды содержат много питательных веществ. Вместе с тем в их составе могут находиться различные компоненты, представляющие в результате аккумуляции в растительных объектах опасность для человека. Перед использованием для орошения стоки должны пройти механическую и биологическую очистку, для того чтобы предупредить загрязнение почвы и сельскохозяйственных культур токсичными веществами. Агрохимические и гигиенические требования предусматривают разбавление сточных вод пресной водой, чтобы довести общую минерализацию до 1,5...2 г/л, содержание общего азота — до 150...300 мг/л. Нормативы содержания поверхностно-активных веществ в нашей стране не приняты, однако необходимо осуществлять меры по снижению их содержания. Бактериальный норматив, принятый во многих странах мира, — 1000 фекальных колиформ на 100 мл сточных вод для полива любых растений.

Использование достижений биотехнологии. Среди новых направлений биотехнологии, способствующих получению экологически безопасной продукции, следует отметить применение микробиологических удобрений, про-

мышленную переработку бытовых отходов, индустриальную технологию компостирования отходов животноводства — технологию переработки экскрементов с использованием навозной мухи, переработку отходов для получения биогаза и экологически чистых органических удобрений и др.

Микробиологические удобрения представляют собой препараты, содержащие живые культуры микроорганизмов, которые обладают ценным свойством повышать продуктивность растений и качество растительной продукции. Микробиологические удобрения вносят непосредственно в почву или используют для предпосевной обработки семян.

Азотфиксирующие микроорганизмы служат прекрасной основой для производства экологически чистых и благотворно влияющих на качество сельскохозяйственной продукции биоудобрений. Так, при инокуляции микробным азотом по сравнению с азотом минеральным в растениях увеличивается содержание белка и витаминов, а также ускоряется созревание.

Микроорганизмы образуют физиологически активные вещества — фитогормоны, антибиотики и другие продукты метаболизма, подавляющие рост патогенной микрофлоры. Кроме того, микроорганизмы стимулируют увеличение доступности для растений макро- и микроэлементов. Применение бактериальных удобрений предотвращает загрязнение нитратами и обеспечивает получение сельскохозяйственной продукции высокого качества.

Большинство удобрений такого вида разрабатывают на основе бактерий рода *Rhizobium*. Имеется положительный опыт и в использовании для этих целей *Azotobacter*. В последние годы показана перспективность получения препаратов из бактерий рода *Klebsiella*, а также полиштаммовых (два и более штамма) композиций. Такие композиции в некоторых случаях уникальны по своей эффективности и часто превосходят лучшие зарубежные образцы-аналоги. Преобладающее большинство микробных препаратов изготавливают в гранулированной или порошкообразной форме на основе торфа, а также в виде масляной

эмульсии или замороженного концентрата клеток.

Крупнейшие производители микробных инокулянтов — Австрия, Индия, США.

Организация производства и рациональное использование биопрепаратов в перспективе дадут возможность повысить продуктивность основных сельскохозяйственных культур в среднем на 20...25 %, обеспечить получение продукции более высокого качества, сократить период вегетации возделываемых растений на 15...25 %, повысить рентабельность производства. Кроме того, как показывают результаты исследований, применение микробных инокулянтов позволит сэкономить до 50...60 кг азотных удобрений на 1 га, значительно уменьшить применение пестицидов и т. д. Все это в конечном итоге весьма существенно для формирования и развития процессов экологизации сельскохозяйственного производства.

Интересны некоторые фактические данные о результатах применения рассмотренных препаратов. Как правило, они способствуют достижению хороших производственных и экономических показателей. Например, каждая гектарная «порция» препаратов обеспечивает прибавку в 10...20 т овощей, 0,5...0,8 т зерна, 1,5...2,0 т картофеля.

Другое важное в экологическом отношении направление использования возможностей биотехнологических процессов — получение микробных удобрений путем биологической обработки отходов животноводства. Предположение о возможности использования микроорганизмов для утилизации таких отходов и получения ценных биологических удобрений было высказано еще в 1945 г. на учредительном съезде Международного микробиологического общества. Позже для этих целей стали применять аэротенки, в которых интенсивная аэрация и перемешивание жидкости способствуют быстрому окислению микрофлорой органических соединений азота, фосфора и калия, растворенных в животноводческих стоках. В специально созданной благоприятной среде микроорганизмы активно потребляют эти соединения, быстро размножаются и накапливают их в своей био-

массе. Таким путем получают две фракции удобрений: твердую (осадок первичных отстойников) и биомассу микроорганизмов. Смесь активных микроорганизмов с осадками отстойников в соотношении 1 : 1 высушивают при температуре выше 100 °С и получают биоудобрение «Бамил» (биомасса активных микроорганизмов), содержащее 5 % азота, 1,6 — фосфора, 0,5 — калия, 7% кальция, а также микроэлементы. Оно положительно влияет на биологическую активность почвы и соответствует экологическим требованиям (отсутствие загрязнения тяжелыми металлами, лекарственными препаратами, яйцами гельминтов), способствует снижению общей микробной обсемененности.

Опыт такой работы имеется на свинооткормочном комплексе «Восточный» (Ленинградская обл.). Ежегодно на этом комплексе по откорму 108 тыс. голов получают до 10 тыс. т биоудобрений.

Воду, накапливаемую в биопрудах, можно использовать для полива и разведения рыбы (карпа, толстолобика и др.).

23.4. СЕРТИФИКАЦИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Сертификация служит для оценки качества продукции. Объект сертификации — пищевая продукция, предназначенная для реализации на товарном рынке России. Обязательная сертификация пищевой продукции осуществ-

яется в соответствии с нормативными документами, устанавливающими обязательные требования по ПДК и ДОК, и направлена на обеспечение ее безопасности для здоровья людей и окружающей среды. Так, в 1996 г. было исследовано около 1,5 млн проб продовольственного сырья и пищевых продуктов, из них 5,9 % не отвечали требованиям гигиенических нормативов.

На деятельность по сертификации пищевой продукции распространяются государственный контроль и надзор, осуществляемые Государственной метрологической службой Госстандарта России. Пищевая продукция, подлежащая обязательной сертификации, разделена на 13 групп однородной продукции (зерно и продукты его переработки; хлеб, хлебобулочные и пекарные изделия; растительные масла и масложировые продукты; мясо и мясная продукция и т. д.). Перечень пищевой продукции, подлежащей обязательной сертификации, утверждает Правительство Российской Федерации. Сертифицируемая пищевая продукция подразделяется на продукцию с гарантированным сроком хранения до 1 мес (кратковременное хранение) и более 1 мес (длительное хранение).

Сертификацию пищевой продукции осуществляют уполномоченные органы, получившие право выполнения соответствующих работ. Органы по сертификации пищевой продукции должны использовать результаты испытаний, полученные по аттестованным методикам, что позволяет полно и достоверно

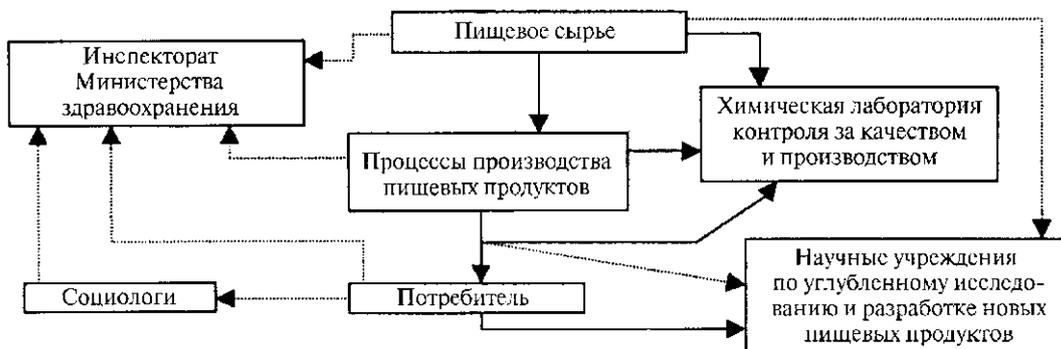


Рис. 23.13. Система контроля качества пищевых продуктов на различных этапах их производства и потребления (Киприянов, 1997)

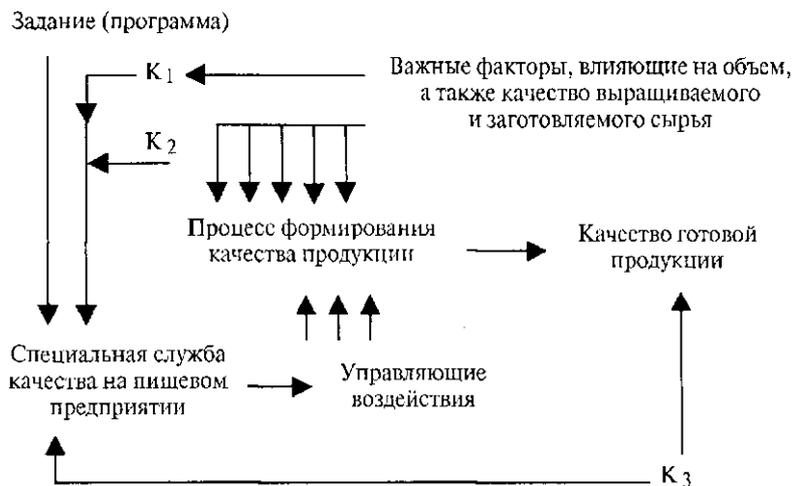


Рис. 23.14. Возможная функциональная схема построения системы управления качеством пищевых продуктов:

K_1, K_2, K_3 — управляющие воздействия (Киприянов, 1997)

провести идентификацию продукции и подтвердить соответствие ее требованиям, установленным нормативными документами.

При сертификации проводят испытания для проверки характеристик (показателей) качества продукции, позволяющих: полно и достоверно подтвердить соответствие продукции требованиям, направленным на обеспечение ее безопасности для здоровья человека и окружающей среды; получить информацию об органолептических свойствах продукции, ее химическом составе.

Пищевая продукция и продовольственное сырье, производимые фермерскими хозяйствами и сельскохозяйственными предприятиями, могут сертифицироваться в соответствии с «Правилами сертификации пищевой продукции, производимой фермерскими хозяйствами». Сертификат на продукцию растениеводства и животноводства (в том числе производимую фермерскими хозяйствами) может быть выдан органом по сертификации после анализа документов, представляемых заявителем, о результатах контроля его производства и продукции органами надзора (ветеринарная инспекция, агрохимслужба, санэпиднадзор, государственная хлебная инспекция); анализа условий поставки продукции; при необ-

ходимости — контрольных испытаний с привлечением органов надзора и при условии последующего инспекционного контроля. На рисунке 23.13 приведена генерализованная действующая схема системы контроля качества пищевых продуктов.

Порядок проведения сертификации продукции включает: подачу и рассмотрение заявки на сертификацию; принятие решения по заявке; отбор, идентификацию образцов и их анализ; оценку производства или сертификацию систем качества; анализ полученных результатов и принятие решения о возможности выдачи сертификата; выдачу сертификата и лицензии на применение знака соответствия; осуществление инспекционного контроля за сертифицированной продукцией; корректирующие мероприятия при нарушении соответствия продукции установленным требованиям и неправильном применении знака соответствия. Органы по сертификации ведут учет выданных ими сертификатов соответствия. Документы и материалы, подтверждающие сертификацию продукции, хранятся в органе по сертификации, выдающем сертификат соответствия, в течение срока действия данного документа (не менее).

Задачи экологической сертификации

(по Кольцову, 1995): обеспечение безопасности продукции на всех стадиях ее жизненного цикла; приостановка или прекращение реализации продукции, не отвечающей установленным экологическим требованиям; содействие сбыту продукции с лучшими экологическими характеристиками и защита отечественного производителя от нечестной

конкуренции; предотвращение поступления в страну недоброкачественных экологической точки зрения иностранных товаров; оценка отходов производства с точки зрения экологической безопасности и утилизации. Решению этих задач должно способствовать совершенствование управления качеством продукции (рис. 23.14).

Глава 24

ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

24.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ

По мере роста масштабов использования научно-технических достижений в сельскохозяйственном производстве необходимость грамотного учета природной составляющей существенно возрастает. Научно-техническая революция повысила значимость квалифицированного труда как источника материального богатства, но не может устранить природу как источник естественных сил и вещественных элементов производства. Земля по-прежнему остается матерью богатства. Органическая связь сельскохозяйственного производства с естественными процессами сохраняется. И это закономерно. «Человек в процессе производства может действовать лишь так, как действует сама природа, т. е. может изменять лишь формы веществ. Более того. В самом этом труде формирования он постоянно опирается на содействие сил природы»*.

При организации производства в сфере агропромышленного комплекса важно сочетать использование научно-технических достижений с принципами природосообразности. Необходима «экологизация» сельского хозяйства. Еще в 70-х — начале 80-х гг. XX в. в областных системах земледелия был выделен самостоятельный раздел «Охрана природы», где были рассмотрены осо-

бенности использования удобрений и применения пестицидов, рекультивация нарушенных промышленностью земель, организация водоохраных зон рек, предотвращение загрязнения среды отходами.

Основой целенаправленных агроэкологических исследований явилась «Комплексная программа научно-технического прогресса в агропромышленном комплексе СССР», содержащая обстоятельный раздел «Воспроизводство природных ресурсов и охрана окружающей среды», нормативные материалы [«Типовое положение о районном агропромышленном объединении» и «Типовое положение об областном, краевом и республиканском (АССР) агропромышленном объединении», «Указания по разработке системы земледелия и землеустройству колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных предприятий РСФСР» и др.].

Немаловажную роль в осуществлении природоохранной работы в сфере сельскохозяйственного производства играет Всероссийское общество охраны природы (ВООП) — старейшая общественная природоохранная организация страны. Президиум Центрального Совета общества постоянно ориентировал сельские организации на решение конкретных задач по охране природы. Регулярно проводились рейды по охране и рациональному использованию земель, по охране малых рек, различные конкурсы, операции «Биошит» и др. Был подготовлен цикл лекций по вопросам

* Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 23. С. 51—52.

охраны природы в сельском хозяйстве, издана серия тематических плакатов, снят ряд документальных кинофильмов. ВООП инициировало разработку комплексных планов охраны природы в хозяйствах. Такие планы получили достаточно широкое распространение. По инициативе Горьковской (ныне Нижегородской) организации ВООП, например, в области систематически проходили научно-практические конференции «Сельскохозяйственное производство и охрана окружающей среды».

Определенным этапом в развитии процесса экологизации, в формировании его научных основ явилась Всесоюзная научно-практическая конференция «Проблемы охраны природы в Нечерноземной зоне в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства» (Брянск, 1983 г.), проводившаяся по инициативе и под эгидой ВНИИ природы, ВООП, научных и общественных организаций г. Брянска. Многие идеи и предложения, высказанные участниками конференции, актуальны и сегодня. В 1989 г. под эгидой советской ассоциации «Экология и мир» состоялась Всесоюзная конференция «Экология и сельское хозяйство». Экологические проблемы агропромышленного комплекса обстоятельно обсуждались на Всероссийском съезде по охране природы (Москва, 1995 г.).

Базовым документом, определяющим основные требования к природоохранной работе в сельском хозяйстве, является Закон «Об охране окружающей природной среды» (1991 г.). В этом нетрудно убедиться, прочитав названия статей Закона: «Предельно допустимые нормы применения агрохимикатов в сельском хозяйстве», «Экологические требования при планировании, проектировании, выполнении мелиоративных работ», «Экологические требования при использовании химических веществ в народном хозяйстве», «Охрана окружающей природной среды от вредного биологического воздействия», «Разработка и реализация проектов, существенно влияющих на окружающую природную среду».

Статья 46 Закона «Экологические требования в сельском хозяйстве» гласит:

«1. Предприятия, объединения, организации и граждане, ведущие сельское хозяйство, обязаны выполнять комплекс мер по охране почв, водоемов, лесов и иной растительности, животного мира от вредного воздействия стихийных сил природы, побочных последствий применения сложной сельскохозяйственной техники, химических веществ, мелиоративных работ и других факторов, ухудшающих состояние окружающей природной среды, причиняющих вред здоровью человека.

2. Животноводческие фермы и комплексы, предприятия, перерабатывающие сельскохозяйственную продукцию, должны иметь необходимые санитарно-защитные зоны и очистные сооружения, исключающие загрязнение почв, поверхностных и подземных вод, поверхностных водосборов водоемов и атмосферного воздуха. Нарушение указанных требований, причинение вреда окружающей природной среде и здоровью человека влечет за собой ограничение, приостановление либо прекращение экологически вредной деятельности сельскохозяйственных и иных объектов по предписанию уполномоченных на то государственных органов Российской Федерации в области охраны окружающей природной среды, санитарно-эпидемиологического надзора».

Большое значение имеет предусмотренный Законом экономический механизм охраны окружающей природной среды (статьи 15...24). Он включает планирование и финансирование природоохранных мероприятий; установление лимитов использования природных ресурсов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ; установление нормативов платы и размеров платежей за использование природных ресурсов, выбросы и сбросы загрязнителей, размещение отходов и т. д.; предоставление налоговых и кредитных льгот при осуществлении различных эффективных мер по охране природы; возмещение вреда, причиняемого загрязнениями.

В апреле 1996 г. Президентом Российской Федерации подписан Указ «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». Согласно Концепции переход к устойчивому развитию тесно связан с последо-

вательным и целенаправленным решением экологических проблем, с обеспечением экологической безопасности общества.

24.2. ЗАКОНЫ ЭКОЛОГИИ Б. КОММОНЕРА

Гармонирующие с окружающей средой производство и потребление должны основываться на законах экологии, в том числе и сформулированных известным экологом Б. Коммонером (1974).

Согласно первому закону все связано со всем. Все экосистемы являются взаимонастраивающимися и взаимоуравновешенными. При каких-либо отклонениях в одном звене экосистема в целом стабилизируется благодаря динамическим самоконтролирующим свойствам. При слишком сильных отклонениях может произойти разрушение экосистемы. Допустимые отклонения, не приводящие к драматической развязке, определяются сложностью системы и ее кинетическими параметрами (скорость кругооборота, скорость метаболизма различных популяций, входящих в систему, и т. п.). Разрушение отдельных звеньев приводит к упрощению экосистем и к их большей «ранимости». Иллюстрацией упадка экосистемы может служить разрушение кислородного обмена в воде, вызываемое эвтрофированием и связанное с увеличением в бассейне количества питательных веществ, транспортируемых со сбросными водами. Питательные вещества стимулируют рост водорослей, плотный слой которых начинает препятствовать проникновению в нижние слои воды света, необходимого для фотосинтеза. Количество отмирающих водорослей растет, и весь растворенный в воде кислород тратится на их разложение, что приводит к гибели разлагающихся водоросли бактерий, которые не могут существовать без кислорода.

Второй закон Коммонера: все должно куда-то деваться. В природе продукты жизнедеятельности одних организмов служат «сырьем» для других. Технологические отходы часто «не вписываются» из-за слишком больших объемов или чужеродное™ в при-

родные экологические системы и загрязняют их. Дальнейший путь загрязняющих веществ может быть самым необычным. Например, содержащаяся в выбросах многих химических предприятий ртуть попадает в водные бассейны, где бактериями превращается в растворяющуюся в воде метиловую ртуть. С водой ртуть попадает в организм рыб, из рыб — в организм человека и накапливается в нем, так как ртуть не участвует в метаболизме. Производственные и бытовые отходы, поступающая в окружающую среду, не исчезают бесследно.

Третий закон: природа знает лучше. Любое крупное изменение природной системы вредно для нее, ибо эта система прошла несравненно более длительную эволюцию, чем период развития цивилизации, и усовершенствовалась до уровня тончайшего механизма, в котором каждая деталь играет незаменимую роль. Для любой органической субстанции, вырабатываемой организмами, в природе есть фермент, который может ее разложить. Многие же синтезированные человеком вещества настолько отличаются от природных, что в естественных условиях они не разлагаются и накапливаются в природе. Попав в живой организм, эти вещества могут вызывать самые неожиданные последствия. Закон призывает к предельной осторожности во взаимодействии с природой.

Четвертый закон: за все надо платить (ничто не дается даром). Все, что человек берет от природы, должно быть рано или поздно возмещено, так как глобальная экосистема является единым целым, в рамках которого не может быть что-то выиграно или потеряно. Как пишет Коммонер, платежа по этому векселю нельзя избежать, он может быть только отсрочен.

В соответствии с рассмотренными законами любой технологический процесс не должен приводить к нарушению каких-либо звеньев экосистем. Если нарушения произошли, то подлежат устранению. Наименьшее число нарушений в экосистеме вызывает такое производство, которое имеет высокую степень замкнутости. В подобном производстве отходы сводятся к минимуму,

а поток материалов приближается к замкнутому кругообороту вещества в природных системах.

24.3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Охране подлежит весь природный комплекс, а не отдельные элементы природы; меры охраны должны быть взаимосвязаны. Природоохранные мероприятия подразделяются на научные, технические и технологические, организационные, правовые, пропагандистские, образовательные.

Для объективной оценки возможности отрицательного влияния сельскохозяйственного производства на природную среду необходимо дифференцировать вероятные воздействия в зависимости от отраслевой специализации.

Широкое развитие земледелия связано прежде всего с уничтожением природной растительности и изменением биологического круговорота веществ и водного режима на значительной территории. Влияние земледелия на окружающую природную среду проявляется в следующем:

уничтожение природной растительности на больших площадях и замена ее полевыми или плантационными культурными растениями немногих видов;

превращение природных биогеоценозов в агроценозы;

превращение бесплодных почв и малопродуктивных природных экосистем в высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья посредством мелиорации (не исключена, однако, и противоположная ситуация);

уничтожение природных местообитаний животных;

деградация почвенного покрова в условиях его нерационального использования (водная и ветровая эрозия почвы, истощение почв, засоление и осолонцевание почв, заболачивание почв, загрязнение почв избыточными дозами удобрений и пестицидов);

изменение радиационного и водного баланса обширных территорий, ведущее к изменениям климата;

изменение гидрологического режима территорий (усиление поверхностного

стока, истощение грунтовых вод и падение их уровня, повышение уровня грунтовых вод при орошении, усиление седиментации в руслах рек, что приводит к накоплению в водоеме органических и минеральных осадков);

загрязнение поверхностных и грунтовых вод удобрениями, пестицидами, водорастворимыми солями, отходами производства;

загрязнение атмосферы (при внесении удобрений и пестицидов с помощью авиации, при выделении азотистых соединений удобрений из почвы в атмосферу путем денитрификации);

образование бросовых земель; развитие процессов опустынивания.

Направления воздействия животноводства на природную среду:

уничтожение природной растительности на больших пространствах и опустынивание вследствие перегрузки пастбищ;

деградация природной растительности на пастбищах;

выбивание растительности и эрозия почвенного покрова вокруг колодцев, на трассах перегонов и т. п.;

загрязнение поверхностных вод отходами животноводства близ боен и перерабатывающих предприятий, при стойловом содержании скота, при водопое на природных водоемах и реках.

Целесообразные направления рационального использования природно-ресурсного потенциала и охраны окружающей природной среды в сфере сельскохозяйственного производства могут быть представлены целевыми программами, планами, комплексными схемами, экологическими паспортами. Главное — не форма подачи материалов, а их содержание, обоснованность возможности практической реализации выработанных предложений.

Исходя из концептуальных положений об охране природы в сельском хозяйстве, высказанных профессором И.П.Лаптевым, необходимые разработки желательно вести по следующему алгоритму.

1. Природно-экономические особенности хозяйства

1.1. Экономическая характеристика и перспективы развития.

1.2. Население (численность, распределение).

1.3. Сельскохозяйственные угодья и другие земли (площади, их соотношение и использование, антропогенное воздействие на земли, развитие эрозионных процессов).

1.4. Леса (характеристика, естественное воспроизводство, прямое и косвенное использование, антропогенное воздействие).

1.5. Водоемы (общая характеристика, характер и объем прямого и косвенного использования, антропогенные воздействия на водоемы и на воду).

1.6. Рыбные ресурсы (состав ихтиофауны, рыбохозяйственная характеристика видов, способы и объем использования, антропогенные воздействия).

1.7. Полезные ископаемые (характеристика, размер запасов и их использование, антропогенные воздействия).

1.8. Наземные животные (состав, охотохозяйственная характеристика видов, их использование, антропогенные воздействия).

1.9. Общая характеристика реализуемых мер по рациональному использованию, охране, воспроизводству и улучшению природного комплекса.

2. Прогноз антропогенных изменений природного комплекса и их влияния на развитие хозяйства

2.1. Изменения, обусловленные воздействием на территории хозяйства.

2.2. Изменения, обусловленные воздействием с соседних территорий.

2.3. Экономическая оценка антропогенных изменений, влияние их на темпы и направление развития хозяйства.

2.4. Оценка влияния антропогенных изменений на условия жизни населения, его здоровье.

2.5. Генеральное направление рационального использования, охраны, воспроизводства и улучшения природного комплекса хозяйства в интересах его устойчивости и ускорения развития.

3. Система мер комплексной охраны природы на территории хозяйства

3.1. Атмосфера: сохранение и создание зеленых насаждений в населенных

пунктах, вдоль дорог; постройка очистных сооружений; усовершенствование технологических процессов; рационализация сети дорог близ населенных пунктов; регулирование движения автотранспорта.

3.2. Водоемы: охрана и посадка водоохранительных лесных насаждений; строительство очистных сооружений; усовершенствование технологии и введение оборотного водоснабжения на производствах; предотвращение смыва удобрений и пестицидов в водоемы; регламентация движения водного транспорта и предотвращение загрязнения им водоемов; создание прудов для водоснабжения, поения скота и рекреационных целей.

3.3. Полезные ископаемые: рациональное размещение мест добычи общераспространенных полезных ископаемых; рекультивация мест добычи; контроль за выполнением мер охраны природы предприятиями по добыче полезных ископаемых.

3.4. Почвы: меры по экономному использованию земель под застройку, дороги и для других целей; предотвращение разрушения и уничтожения почвы в ходе строительных работ и освоения целинных участков; меры по предотвращению загрязнения почвы агрохимикатами, сточными водами; комплекс мер по предотвращению эрозии почв и ликвидации ее последствий; насаждение защитных лесных полос, мелиорация почв, обводнение пастбищ, искусственный экономный полив природными и сточными водами; меры по улучшению структуры почвы и предотвращению ее уплотнения (выпасаемые животные, транспорт, отдыхающие).

3.5. Луга и пастбища: рациональное выделение лугопастбищных угодий, меры по повышению их продуктивности; предотвращение перевыпаса на пастбищах (организация загонной пастбы), особенно в лесах и на склонах; предотвращение загрязнения агрохимикатами и возбудителями заболеваний животных и человека.

3.6. Леса: создание оптимальной лесистости и наиболее целесообразное размещение лесов и кустарников, ведение правильного лесного хозяйства

и организация рациональной лесоэксплуатации; противопожарные меры, защита лесов от лесных вредителей и чрезмерной рекреационной нагрузки, от повреждения агрохимикатами; система мер по охране и рациональному использованию угодий дикорастущих растений; насаждение лесов и создание ползащитных, водозащитных лесных полос, организация местных лесозаказников и рекреационных участков.

3.7. Болота: пути рационального (прямого и косвенного) использования болот; меры по охране болот — аккумуляторов воды и регуляторов стока; меры по предотвращению заболачивания территории, выделение болот для осушения.

3.8. Насекомые: меры по охране мест обитания основных опылителей диких растений и сельскохозяйственных культур (создание микрозаказников и т. п.); охрана рыжих лесных муравьев.

3.9. Рыбы: охрана от вредных антропогенных воздействий мест нереста; борьба с загрязнением важнейших рыбохозяйственных водоемов; спасение молоди из «отшнуровавшихся» (отделившихся от основного) водоемов; регулирование любительского лова и борьба с браконьерством; предотвращение заморов рыбы, зарыбление естественных водоемов и прудов, разведение ценных рыб.

3.10. Птицы: сохранение мест гнездования насекомоядных птиц, введение в лесные полосы и зеленые насаждения в населенных пунктах кустарников; развешивание в лесах, лесонасаждениях, садах и парках скворечников и синичников; проведение зимней подкормки птиц; борьба с весенними палами в местах гнездования птиц, проведение сенокоса и уборки зерновых от центра участка к его краям; сохранение основных мест обитания полезных для сельского хозяйства и промысловых птиц; борьба с разорением гнезд, отловом птиц для продажи и с браконьерами; создание местных заказников и «участков покоя»; обеспечение выполнения правил охоты.

3.11. Звери: сохранение мест обитания промысловых животных; меры по обеспечению выполнения правил охо-

ты; выделение и охрана местных заказников и «участков покоя»; заселение угодий ондатрой и другими ценными животными; меры по спасению зверей в период половодья, подкормки зимой, борьба с раскопкой нор, посадка кормовых растений; мероприятия по предотвращению гибели животных на сельскохозяйственных угодьях.

3.12. Памятники природы: организация их выявления и учета; передача на сохранение.

3.13. Организация работы по рациональному использованию, охране и воспроизводству, улучшению природных ресурсов; внесение предложений в вышестоящие органы о необходимых мерах по предотвращению вредного влияния на природу хозяйства со смежных территорий, а также вредного влияния предприятий областного и республиканского подчинения, расположенных на землях хозяйства.

Исходными материалами для разработки системы природоохранных мероприятий служат: соответствующие законы Российской Федерации; указы, распоряжения, инструкции, различные нормативные документы Минсельхозпрода РФ; постановления и рекомендации местных органов власти; указы, распоряжения, инструкции, различные нормативные документы по охране недр, атмосферы, водных и земельных ресурсов, по вопросам лесного, охотничьего и рыбного хозяйства, издаваемые Госкомитетом РФ по охране окружающей среды, Госкомитетом РФ по земельной политике, Федеральной службой лесного хозяйства России и т.д.; картографические и статистические сведения о рассматриваемой территории; рекомендации научных учреждений региона; литературные источники; предложения местных организаций ВООП, Общества охотников и рыболовов и др.

Накоплен большой объем информации, позволяющий решать экологические задачи разной сложности, оценивать реально складывающуюся экологическую ситуацию и тенденции ее развития. Эту информацию должны использовать руководители и специалисты аграрного сектора.

24.4. ОПЫТ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Грамотное сочетание производственных интересов с требованиями природосообразности не только обеспечивает устойчивое экономическое развитие, но и обогащает окружающую природную среду. Наглядным примером тому является колхоз «Ленинская искра» Ядринского района Чувашской Республики, который многие годы возглавляет талантливый организатор сельскохозяйственного производства А. П. Айдак. Отсталый в прошлом колхоз превратился в экономически крепкое многоотраслевое хозяйство, в котором проводится целенаправленная работа по охране природы. Основными факторами стабильности экономического роста, успешного решения производственных и социальных задач здесь стали повседневная забота о земле, всемерное повышение ее плодородия, осуществление природоохранных мероприятий.

Последовательная многолетняя работа по рационализации природопользования охватывает все природные ресурсы закрепленной за хозяйством территории — земли, леса, водные источники, растительный и животный мир. В хозяйстве сохраняют и повышают плодородие почв, получают высокие урожаи экологически чистой сельскохозяйственной продукции, рационально используют биологические ресурсы, все многообразие растительного и животного мира. В колхозе осуществляют противоэрозионные мероприятия (организационно-хозяйственные, агротехнические, луголесомелиоративные, гидротехнические), что способствует практически полному прекращению эрозионных процессов.

Осуществлена контурно-мелиоративная организация территории. В соответствии с внедренной системой земледелия изменена структура посевных площадей, расширены площади посевов многолетних трав, возросли объемы вносимых органических удобрений, что способствовало увеличению содержания гумуса в почве, получению высоких и гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур. В хозяйстве более 10 лет не применяют химические сред-

ства борьбы с вредителями и болезнями растений (кроме хмельников).

Обустройство имеющихся на территории хозяйства 32 родников, строительство каскада прудов общей площадью более 100 га, рыборазведение, создание 9 энтомологических микрозаказников, внимание к пчеловодству, рукотворные леса, шумящие на площади свыше 200 га, обогащение охотничьих угодий полезной фауной (завезены олени, кабаны, сурки и другие животные), постоянное проведение мероприятий по улучшению условий обитания зверей и птиц, забота о сохранении и умножении численности животных, ежегодное финансирование природоохранных работ из средств колхоза — свидетельства практического воплощения идеи рационального природопользования. В хозяйстве воедино соединены заботы о повышении эффективности производства и благоустроенной, обеспеченной жизни сельских тружеников.

Под руководством А. П. Айдака в сельскохозяйственное производство внедряется научно обоснованная природоохранная система. Коллегия бывшего Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации одобрила опыт работы колхоза «Ленинская искра» и направила соответствующие материалы в территориальные природоохранные органы для изучения и широкого распространения. Колхоз «Ленинская искра» получил статус базового опытно-показательного хозяйства по охране окружающей среды и рациональному природопользованию. Организована переподготовка кадров территориальных природоохранных органов непосредственно в хозяйстве. В. И. Данилов-Данильян подчеркивает, что опыт работы колхоза «Ленинская искра» наглядно свидетельствует о том, что сельскохозяйственное производство при умелом его ведении положительно влияет на экологическую обстановку, способствует повышению плодородия почв, улучшает, облагораживает и обогащает землю и природные ландшафты.

Заботу об охране природы проявляют немало других сельскохозяйственных предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

●

Сельскохозяйственное производство, представляющее собой механизм устойчивого культивирования природных богатств, отличается от других отраслей более тесным соединением общественных и природных факторов. По существу, возделывание сельскохозяйственных растений и разведение животных — наиболее активные формы взаимодействия человека и природы. Достижения науки вызывают существенные материально-технические изменения в отрасли. Параллельно интенсифицируется и обратный процесс — рост «давления» на природные комплексы. Результаты этого «давления» — эрозия, засоление и заболачивание почв, уменьшение содержания в них гумуса, гибель полезной микрофлоры, загрязнение почв тяжелыми металлами, остаточными количествами пестицидов, уничтожение природных местообитаний и обеднение видового состава растений и животных, изменение гидрологического режима территорий, загрязнение компонентов биосферы, нарушение естественного биогеохимического круговорота веществ и т. д. Создание рациональных агроценозов далеко не всегда сопровождается грамотным использованием естественных биогеоценозов. Возрастающие биологическая, механическая и химическая нагрузки приводят к тому, что естественной саморегуляции оказывается недостаточно. В результате в нежелательном направлении изменяются элементы экологических систем, нарушается экологический баланс, блокируются функциональные возможности природного биоэнергетического потенциала агроэкосистем.

Долговременные перспективы хозяйственного развития (в том числе и аграрного производства), социально-экономические интересы общества диктуют необходимость оптимизировать всю систему природопользования с учетом перспектив развития сельского хозяйства, заблаговременно оценивать возможные негативные воздействия на окружающую среду и предусматривать пути их нейтрализации.

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в процессе сельскохозяйственного производства пока еще преимущественно ориентированы на поиск сравнительно частных решений. Между тем необходимо последовательно рассматривать целостную систему природоохранных задач. Важно анализировать направленность, характер и последствия взаимодействия агропромышленного комплекса с окружающей природной средой и отдельными ее компонентами, влияние техногенных факторов на сельское хозяйство. Крайне необходимы прогнозы развития соответствующих процессов в будущем, что даст возможность заблаговременно предусмотреть конструктивные решения с учетом интересов и общества, и природы. Необходимо с максимальной эффективностью использовать природный базис сельскохозяйственного производства, обеспечивая при этом последовательное его восстановление и воспроизводство, устойчивую сбалансированность элементов. Нужно стремиться свести к минимуму возможные отрицательные последствия антропогенного влияния на агроценозы.

«Экологизация» должна быть неотъемлемым элементом плановой и

технологической дисциплины в агропромышленном комплексе, это создаст более действенные предпосылки рачительного хозяйствования на земле. Учет требований природосообразности в сельском хозяйстве обеспечивает в конечном итоге экономию материальных и трудовых затрат (например, осушительные мелиоративные системы, подготовленные в соответствии с природосберегающими принципами, более эффективны и устойчивы в процессе эксплуатации; агроэкосистемы в оптимизированных ландшафтах отличаются большей продуктивностью; внесение минеральных удобрений с учетом конкретных метеорологических условий не только способствует более эффективному их использованию, но и уменьшает вероятность негативного воздействия их на природные объекты и т. д.). «Экологизация» способствует сохранению генофонда дикой природы в качестве исходного материала для селекции, является одной из предпосылок улучшения социально-бытовых условий на селе.

Последовательная реализация в агропромышленном комплексе экологических идей и принципов невозможна без серьезного организационного оформления, без хорошо отлаженного механизма управления, прежде всего в сфере практической деятельности.

Академик А. А. Жученко, анализируя перспективы и проблемы развития сельского хозяйства в XXI в., выделил 6 ключевых факторов, обеспечивающих экологичность производственных аграрных систем:

биологизация и экологизация интенсификационных процессов в сельском хозяйстве на основе новых фундаментальных и прикладных знаний;

дифференцированное использование природных, биологических, техногенных, трудовых и других ресурсов, а также выработка агрономических приемов и технологий, адаптированных к местным условиям;

конструирование высокопродуктивных, экологически устойчивых и эстетически полноценных агроэкосистем и агроландшафтов на основе увеличения видового и генетического разнообразия культивируемых видов сортов и растений; сохранение и создание новых механизмов и структур биоценотической саморегуляции, усиление замкнутости биогеохимических циклов;

повышение способности культивируемых растений с наибольшей эффективностью утилизировать в процессе фотосинтеза ресурсы окружающей среды;

расширение исследований по управлению адаптивными реакциями живых организмов на разных ступенях их развития и уровня формирования (от субклеточного до организменного, биоценотического и даже биосферного);

существенное повышение как продукционной, так и средообразующей роли культивируемых видов и сортов растений, агроэкосистем и агроландшафтов.

На этой основе можно обеспечить сбалансированность развития природы и человеческого сообщества в процессе сельскохозяйственного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Учебники и учебные пособия

- Акимова Т. А., Хаскин В. В. Экология. — М.: Издат. объединение ЮНИТИ, 1998.
- Банников А. Г. и др. Охрана природы/А. Г. Банников, А. А. Вакулин, А. К. Рустамов. — М.: Колос, 1996.
- Бардин И. А. Методические вопросы сельскохозяйственной науки. — М.: Высшая школа, 1975.
- Беккер А. А., Агаев Т. Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. — Л.: Гидрометеиздат, 1989.
- Берток П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнения/Пер. с англ.; Под ред. Я. Б. Черткова. — М.: Мир, 1980.
- Богдановский Г. А. Химическая экология. — М.: Изд-во МГУ, 1994.
- Волков С. Н. Землеустройство в условиях земельной реформы: Экономика, экология, право. — М.: Былина, 1998.
- Волова Т. Г. Экологическая биотехнология. — Новосибирск: Сибирский хронограф, 1997.
- Воронцов Н. А., Харитонов Н. З. Охрана природы. — М.: Высшая школа, 1977.
- Гиляров А. М. Популяционная экология. — М.: Изд-во МГУ, 1990.
- Гудков И. Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии. — Киев: Изд-во УСХА, 1991.
- Даждо Р. Основы экологии /Пер. с франц. — М.: Прогресс, 1975.
- Дежкин В. В. Природопользование. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.
- Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии /Пер. с англ.; Под ред. Ю. М. Свиричева. — М.: Мир, 1981.
- Добровольский Г. В., Гришина Л. А. Охрана почв. — М.: Изд-во МГУ, 1985.
- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Экологические функции почвы. — М.: Изд-во МГУ, 1986.
- Дрейер О. К., Лось В. А. Экология и устойчивое развитие. — М.: Изд-во УРАО, 1997.
- За пределами роста: Продолжение знаменитого доклада Римскому клубу «Пределы роста»/Пер. с англ.; Д. Х. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Й. Рандерс; Под ред. Г. А. Ягодина. — М.: Прогресс—Пангея, 1994.
- Карпачевский Л. О. Экологическое почвоведение. — М.: Изд-во МГУ, 1993.
- Киприянов Н. А. Экологически чистое растительное сырье и готовая пищевая продукция. — М.: Агар, 1997.
- Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия. — М.: Колос, 1996.
- Кормилицын В. И. и др. Основы экологии/В. И. Кормилицын, М. С. Цицкишвили, Ю. И. Яламов. — М.: Интерстиль, 1997.
- Кузнецов М. С., Глазунов Г. П. Эрозия и охрана почв. — М.: Изд-во МГУ, 1996.
- Кузнецов В. И. и др. Естественное/В. И. Кузнецов, Г. М. Идлис, В. Н. Гутино. — М.: Агар, 1996.
- Куценко А. М., Писаренко В. Н. Охрана окружающей среды в сельском хозяйстве. — Киев: Урожай, 1991.
- Лапин В. Л. и др. Основы экологических знаний инженера/В. Л. Лапин, А. Г. Мартинсен, В. М. Попов. — М.: Экология, 1996.
- Лозановская И. Н. и др. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении/И. Н. Лозановская, Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова. — М.: Высшая школа, 1998.
- Мазур И. И. и др. Инженерная экология/И. И. Мазур, О. И. Молдованов, В. Н. Шишов. — Т. I, II. — М.: Высшая школа, 1996.
- Майстренко В. Н. и др. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов/В. Н. Майстренко, Р. З. Хамитов, Г. К. Будников. — М.: Химия, 1996.
- Маркович Д. Ж. Социальная экология. — М.: Изд-во РДН, 1997.
- Маслов Б. С., Минаев И. В. Мелиорация и охрана природы. — М.: Россельхозиздат, 1985.
- Миланова Е. В., Рябчиков А. М. Использование природных ресурсов и охрана природы. — М.: Высшая школа, 1986.
- Миллер Т. Жизнь в окружающей среде/Пер. с англ.: В 3 частях; Под ред. Г. А. Ягодина. — М.: Прогресс—Пангея, 1993—1996.
- Минеев В. Г. Экологические проблемы агрохимии. — М.: Изд-во МГУ, 1988.
- Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир /Пер. с англ.: В 2 томах. — М.: Мир, 1993.
- Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек. — М.: Высшая школа, 1986.
- Новиков Г. А. Основы общей экологии и охраны природы.—Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979.
- Одум Ю. Основы экологии/Пер. с англ. — М.: Мир, 1987.
- Охрана окружающей среды /А. М. Владимиров, Ю. И. Ляхин, Л. Т. Матвеев, В. Г. Орлов. — Л.: Гидрометеиздат, 1991.
- Оценка и регулирование качества окружающей природной среды/В. И. Седлецкий, А. Д. Хованский, Н. С. Серпокрылов и др.; Под ред. Н. Ф. Порядина, А. Д. Хованского. — М.: Прибой, 1996.
- Павлов А. Н. Электромагнитные поля и

жизнедеятельность. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1998.

Петров В. В. Экологическое право России. — М.: Изд-во БЕК, 1996.

Петров К. М. Общая экология. — СПб.: Химия, 1997.

Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв/Под ред. Д. С. Орлова и В. Д. Васильевской. — М.: Изд-во МГУ, 1994.

Протасов В. Ф., Молчанов А. В. Экология, здоровье и природопользование в России. — М.: Финансы и статистика, 1995.

Радкевич В. А. Экология. — Минск: Вышэйшая школа, 1997.

Рамад Ф. Основы прикладной экологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1981.

Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания. — М.: Мир, 1994, 1995.

Кн. 1: Народонаселение и пищевые ресурсы.

Кн. 2: Загрязнение среды и воздуха.

Кн. 3: Энергетические проблемы человечества.

Кн. 4: Здоровье и среда, в которой мы живем.

Реймерс Н. Ф. Начала экологических знаний. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1993.

Рузавин Г. И. Концепции современного естествознания. — М.: Издат. объединение ЮНИТИ, 1997.

Сельскохозяйственная экология/Н. А. Уразаев, А. А. Вакулин, В. И. Марымов и др. — М.: Колос, 1996.

Сергеев М. Г. Экология антропогенных ландшафтов. — Новосибирск: Изд-во НГУ, 1997.

Скурлатов Ю. И., Дука Г. Г., Мизити А. Введение в экологическую химию. — М.: Высшая школа, 1994.

Состояние природной среды в СССР в 1988 году: Межведомственный доклад/ Под ред. В. Г. Соколовского. — М.: Лесная промышленность, 1990.

Стадницкий Г. В., Родионов А. И. Экология. — М.: Высшая школа, 1988.

Степановских А. С. Экология. — Курган: ИПП «Зауралье», 1997.

Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации/Под ред. Ю. Б. Осипова, Е. М. Львовой — М.: Варяг, 1996.

Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию /Пер. с нем. — М.: Мир, 1997.

Шилов И. А. Экология. — М.: Высшая школа, 1997.

Экологическая химия: Основы и концепции/Пер. с нем.; Под ред. Ф. Кортэ. — М.: Мир, 1996.

Экологические проблемы: Что происходит, кто виноват и что делать?/Ю. М. Арский, В. И. Данилов-Данильян, М. Ч. Залиханов и др.; Под ред. В. И. Данилова-Данильяна. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.

Экологическое право России /Под ред. В. Д. Ермакова, А. Я. Сухарева. — М.: ИМПЭ, 1997.

Экология и экономика природопользования /Э. В. Гирусов, С. Н. Бобылев, А. Л. Новоселов, Н. В. Чепурных; Под ред. Э. В. Гирусова. — М.: Издат. объединение ЮНИТИ, 1998.

Экология, охрана природы и экологическая безопасность /Под ред. В. И. Данилова-Данильяна. 2 кн. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.

2. Монографии, сборники, брошюры

Агрохимикаты в окружающей среде/Пер. с нем.; Э. Хайниш, Х. Паукке, Г.-Д. Нагель, Д. Ханзен. — М.: Колос, 1979.

Адабашев И. И. Трагедия или гармония. Природа — машина — человек. — М.: Мысль, 1973.

Айдак А. П. И взойдут семена. — Чебоксары: Чувашское кн. изд-во, 1993.

Акрамов З. М., Рафиков А. А. Прошлое, настоящее и будущее Аральского моря. — Ташкент: Мехнат, 1990.

Аллен Р. Как спасти Землю/Пер. с англ. — М.: Мысль, 1983.

Алпатов А. М. Развитие, преобразование и охрана природной среды. — Л.: Наука, 1983.

Андерсон Дж. М. Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек. — Л.: Гидрометеиздат, 1985.

Аникеев В. А. и др. Технологические аспекты охраны окружающей среды/В. А. Аникеев, И. З. Копп, Ф. В. Скалкин. — Л.: Гидрометеиздат, 1982.

Антропогенные изменения климата /Под ред. М. И. Будыко, Ю. А. Израэля. — Л.: Гидрометеиздат, 1987.

Анучин В. М. Основы природопользования (теоретический аспект). — М.: Мысль, 1978.

Араб-Оглы Э. А. Демографические и экологические прогнозы. — М.: Статистика, 1978.

Арнагельдыева А., Костюковский В. Пустыни: рациональное использование и охрана. — М.: Агропромиздат, 1990.

Артамонов В. И. Растения и чистота природной среды. — М.: Наука, 1986.

Ацци Дж. Сельскохозяйственная экология. — М.: Изд-во «Иностран. лит-ра», 1959.

Балацкий О. Ф. и др. Экономика и качество окружающей природной среды/ О. Ф. Балацкий, Л. Г. Мельник, А. Ф. Яковлев. — Л.: Гидрометеиздат, 1984.

Баранников В. Д. Охрана окружающей среды в зоне промышленного животноводства. — М.: Россельхозиздат, 1985.

Беличенко Ю. П., Швецов М. М. Рациональное использование и охрана водных ресурсов. — М.: Россельхозиздат, 1986.

Белоусова Л. С. и др. Редкие растения СССР/Л. С. Белоусова, Л. В. Денисова, С. В. Никитина. — М.: Лесная промышленность, 1980.

Белоусова Л. С., Денисова Л. В. Редкие растения мира. — М.: Лесная промышленность, 1983.

Бигон М. и др. Экология. Особи, популяции и сообщества/М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. — Т. I, II/ Пер. с англ. — М.: Мир, 1989.

Биогеохимические основы экологического нормирования/В. Н. Башкин, Е. В. Евстафьева, В. В. Снакин и др. — М.: Наука, 1993.

Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве/Н. М. Городний, И. А. Мельник, М. Ф. Повхан и др. — Киев: Урожай, 1990.

Биосфера/Пер. с англ.; Под ред. М. С. Гилярова. — М.: Мир, 1975.

Борисенко Е. Н. Продовольственная безопасность России (проблемы и перспективы). — М., 1997.

Будущее мировой экономики/Пер. с англ.;

- Под ред. И. А. Шапиро. — М.: Международные отношения, 1979.
- Будыко М. И. Глобальная экология. — М.: Мысль, 1977.
- Быков А. А., Мурзин Н. В. Проблемы анализа безопасности человека, общества и природы. — СПб.: Наука, 1997.
- Варламов А. А., Волков С. Н. Повышение эффективности использования земли. — М.: Агропромиздат, 1991.
- Вашанов В. Л., Лойко П. Ф. Земля и люди. — М.: Международные отношения, 1975.
- Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. — М.: Наука, 1984.
- Виноградов В. Н. Проблемы сельскохозяйственной экологии//Наука и жизнь. — 1987. - № 6.
- Вишнев С. М. Основы комплексного прогнозирования. — М.: Наука, 1977.
- Вишневский И. Л. и др. Энтропия в природе и обществе/И. Л. Вишневский, А. Н. Лашер, И. В. Салли; Под ред. С. М. Резера. — М.: ВИНТИ, 1994.
- Влияние атмосферного загрязнения на свойства почв/Под ред. Л. А. Гришиной. — М.: Изд-во МГУ, 1990.
- Влияние загрязнений воздуха на растительность/ Пер. с нем.; С. Бёртитц, Х. Эндерляйн, Ф. Энгманн и др.; Под ред. Х.-Г. Десслера. — М.: Лесная промышленность, 1981.
- Восстановление и охрана малых рек: Теория и практика/Под ред. К. К. Эдельштейна, М. И. Сахаровой. — М.: Агропромиздат, 1989.
- Вторжение в природную среду. Оценка воздействия (основные положения и методы)/ Пер. с англ.; Под ред. А. Ю. Ретеюма. — М.: Прогресс, 1983.
- Гербициды и почва: Экологические аспекты применения гербицидов /Под ред. Е. А. Дмитриева. — М.: Изд-во МГУ, 1990.
- Глобальное потепление: Доклад Гринпис/Пер. с англ.; Под ред. Дж. Леггетта. — М.: Изд-во МГУ, 1993.
- Голанский М. М. Будущее мировой экономики и перспективы России. — М.: Наука, 1994.
- Голубев А. В. Удобрять не разрушая. — Саратов: Приволжское кн. изд-во, 1990.
- Гор Эл. Земля на чаше весов: Экология и человеческий дух/Пер. с англ. — М.: ППП, 1993.
- Горшков В. Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды// Итоги науки и техники. Сер. Теоретические и общие вопросы географии. — Т. 7. — М.: ВИНТИ, 1990.
- Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. — М. ВИНТИ, 1995.
- Гудериан Р. Загрязнение воздушной среды. — М.: Мир, 1979.
- Гудожник Г. С. Научно-техническая революция и экологический кризис. — М., 1975.
- Гумилев Л. Н. Этногенез и биосфера Земли. — Л.: Гидрометеоздат, 1990.
- Данилов А. Д., Кароль И. Л. Атмосферный озон — сенсации и реальность. — Л.: Гидрометеоздат, 1991.
- Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой/ Сокр. пер. с франц. — М.: Прогресс, 1973.
- Диалектика живой природы/Под ред. Н. П. Дубинина и Г. В. Платонова. — М.: Изд-во МГУ, 1984.
- Добровольский В. В. Химия Земли. — М.: Просвещение, 1980.
- Дончева А. В. и др. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды/А. В. Дончева, Л. К. Казаков, В. Н. Калуцков. — М.: Экология, 1992.
- Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека/Пер. с франц. — М.: Прогресс, 1973.
- Емцев В. Т. Рубежи биотехнологии. — М.: Агропромиздат, 1986.
- Животноводческие комплексы и охрана окружающей среды/Ю. И. Ворошилов и др. — М.: Агропромиздат, 1991.
- Жученко А. А. Адаптивное сельскохозяйственное растениеводство. — Кишинев: Штиинца, 1990.
- Жученко А. А., Урсул А. Д. Стратегия адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства. — Кишинев: Штиинца, 1983.
- Загрязнение воздуха и жизнь растений/ Пер. с англ.; Под ред. М. Тершоу. — Л.: Гидрометеоздат, 1988.
- Земледелие и рациональное природопользование/Под ред. В. П. Зволинского, Д. М. Хомякова. — М.: Изд-во МГУ, 1998.
- Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды.—Л.: Гидрометеоздат, 1984.
- Иноземцев А. А., Шербаков Ю. А. Использование и охрана ландшафтов. — М.: Росагропромиздат, 1988.
- Исаченко А. Г. Оптимизация природной среды. — М.: Мысль, 1980.
- Использование вторичных сырьевых ресурсов в отраслях АПК/Под ред. И. И. Глотова. — М.: Агропромиздат, 1987.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989.
- Карпачевский Л. О. Зеркало ландшафта. — М.: Мысль, 1983.
- Катасонов В. Великая держава или экологическая колония? — М.: Молодая гвардия, 1991.
- Каштанов А. Н. и др. Основы ландшафтно-экологического земледелия/А. Н. Каштанов, В. Н. Лисецкий, Г. И. Швец. — М.: Колос, 1994.
- Кислотные дожди/ Ю. А. Израэль, И. М. Назаров, А. Я. Прессман и др.—Л.: Гидрометеоздат, 1989.
- Ковда В. А. Основы учения о почвах. В 2 кн. — М.: Наука, 1973.
- Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. — М.: Наука, 1985.
- Комар И. В. Рациональное использование природных ресурсов и ресурсные циклы. — М.: Наука, 1975.
- Коммонер Б. Замыкающийся круг.—Л.: Гидрометеоздат, 1974.
- Копф Г. Биодинамическая ферма/Пер. с нем. — М.: Аккоринформиздат, 1993.
- Красилов В. А. Охрана природы: принципы, проблемы, приоритеты. — М.: Ин-т охраны природы, 1992.
- Ладонин В. Ф. Стратегия земледелия России в XXI веке. — М.: Агроконсалт, 1999.

- Лаптев И. П. Сельское хозяйство и охрана природы. — М.: Колос, 1982.
- Ларищев О. И. Наука и искусство принятия решений. — М.: Наука, 1979.
- Лемешев М. Я. К вопросу о разработке комплексной Продовольственной программы// Экономика и математические методы. — 1981. — № 3.
- Лемешев М. Я. и др. Региональное природопользование: на пути к гармонии/М.Я.Лемешев, Н. В. Чепурных, Н. П. Юрина. — М.: Мысль, 1986.
- Лемешев М.Я. Природа и мы. — М.: Советская Россия, 1989.
- Лемешев М.Я. Пока не поздно... — М.: Молодая гвардия, 1991.
- Леонтьев В. Экономическое эссе/Пер. с англ. — М.: Политиздат, 1990.
- Лес и современное природопользование/ В.К.Добровольский, В. Г. Барский, Г. Я. Кукушкин, В. Т. Николаенко. — М.: Агропромиздат, 1986.
- Лисицын Е. Н. Охрана природы в зарубежных странах. — М.: Агропромиздат, 1987.
- Лисичкин В. А. и др. Закат цивилизации или движение к ноосфере (экология с разных сторон)/В. А. Лисичкин, Л. А. Шелепин, Б. В. Боев. — М.: Гарант, 1997.
- Лунев М. И. Пестициды и охрана агрофитоценозов. — М.: Колос, 1992.
- Львов И. А. Дикая природа: грани управления. — М.: Лесная промышленность, 1984.
- Львович М. И. Вода и жизнь. — М.: Мысль, 1985.
- Мальцев Т. С. Раздумья о земле, о хлебе. — М.: Наука, 1985.
- Методические аспекты исследования биосферы/Под ред. И. Б. Новика. — М.: Наука, 1975.
- Миколаш Я., Питтерман Л. Управление охраной окружающей среды/Пер. со словац. — М.: Прогресс, 1983.
- Минеев В. Г. Агрохимия и биосфера. — М.: Колос, 1984.
- Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. — М.: Агропромиздат, 1990.
- Минеев В. Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения. — М.: Колос, 1993.
- Минеев В. Г., Ремпе Е. Х. Агрохимия, биология и экология почвы. — М.: Росагропромиздат, 1990.
- Миненко Н. А. Экологические знания и опыт природопользования русских крестьян Сибири в XVIII — первой половине XIX в. — Новосибирск: Наука, 1991.
- Мир восьмидесятых годов/Пер. с англ.; Под ред. Г. В. Сдасюк. — М.: Прогресс, 1989.
- Миркин Б. М. Теоретические основы современной фитоценологии. — М.: Наука, 1985.
- Митрюшкин К. П., Павловский Е. С. Лес и поле. — М.: Колос, 1979.
- Моисеев Н. Н. Человек, среда, общество. — М.: Наука, 1982.
- Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. — М.: Молодая гвардия, 1990.
- Моисеев Н. Н. Расставание с простотой. — М.: Аграф, 1998.
- Моргун Ф. Т. Конец света? Или... — Киев: Рад. писменник, 1991.
- Найштейн С. А., Карамзин В. Е. Гигиена окружающей среды в связи с химизацией сельского хозяйства. — Киев: Здоров'я, 1984.
- Научно-технический прогресс в агропромышленном комплексе/Под ред. А. А. Никонова. — М.: Агропромиздат, 1987.
- Наше общее будущее. Доклад международной комиссии по окружающей среде и развитию. — М.: Прогресс, 1989.
- Нестеров В. Г. Вопросы управления природой. — М.: Лесная промышленность, 1981.
- Низ А. Экономика и окружающая среда/Сокр. пер. с англ. — М.: Экономика, 1981.
- Никитин Е. Д., Гирусов Э. В. Шагреневая кожа Земли: Биосфера — почва — человек. — М.: Наука, 1993.
- Никитина З. И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. — Новосибирск: Наука, 1991.
- Окружающая среда между прошлым и будущим: мир и Россия (опыт эколого-экономического анализа)/В. И. Данилов-Данильян, В. Г. Горшков, Ю. М. Арский, К. С. Лосев; Под ред. К. Я. Кондратьева. — М.: Космосинформ, 1994.
- Олдак П. Г. Равновесное природопользование. — Новосибирск: Наука, 1983.
- Ольсевич Ю. Я., Гудков А. А. Критика экологической критики. — М.: Мысль, 1990.
- Ответственность перед будущим/Пер. с нем. и порт.; Под ред. А. Ю. Ретеюма. — М.: Евразия, 1997.
- Охрана водных ресурсов/И. И. Бородавченко, Н. В. Зарубеев, Ю. С. Васильев и др. — М.: Колос, 1979.
- Охрана земельных ресурсов СССР/С. И. Носов, Т. П. Федосеева, А. Н. Бошляков и др. — М.: Агропромиздат, 1986.
- Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы/Пер. с англ.; Под ред. Э. К. Бютнер, Г. С. Голицына, И. Е. Турчинович. — Л.: Гидрометеоздат, 1989.
- Позняковский В. М. Гигиенические основы питания. — Новосибирск: Изд-во НГУ.
- Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистемы. — СПб.: Гидрометеоздат, 1991.
- Потемкин Л. А. Охрана недр и окружающей природы. — М.: Недра, 1977.
- Потравный И. И., Захой В. Б. Ресурсосбережение и охрана окружающей среды. — Киев: Урожай, 1990.
- Пределы роста: Доклад по проекту Римского клуба «Сложное положение человечества»/Пер. с англ.; Д. Х. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Й. Рэндерс, В. В. Беренс III. — М.: Изд-во МГУ, 1991.
- Предстоящее изменение климата. Совместный советско-американский отчет/Под ред. М. И. Будыко, Ю. А. Израэля, М. С. Маккракена, А. Д. Хекта. — Л.: Гидрометеоздат, 1991.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой/Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1986.
- Природа Земли из космоса/ Под ред. Н. П. Козлова. — Л.: Гидрометеоздат, 1984.
- Проблемы экологии России/К. С. Лосев, В. Г. Горшков, К. Я. Кондратьев и др.; Под ред. В. И. Данилова-Данильяна, В. М. Котлякова. — М.: ВИНТИ, 1993.
- Развитие и окружающая среда. Отчет о мировом развитии в 1992 г. — М.: Изд-во МГУ, 1995.

- Разумихин Н.В. Природные ресурсы и их охрана. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1987.
- Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Россия молодая, 1994.
- Реймерс Н. Ф., Штильмарк Ф. Р. Особо охраняемые природные территории. — М.: Мысль, 1978.
- Ресурсы биосферы на территории СССР/ Под ред. И. П. Герасимова. — М.: Наука, 1971.
- Римский клуб: История создания, избран, докл., выступления, офиц. материалы/ Под ред. Д. М. Гвишиани. — М., 1997.
- Розанов А. Б., Розанов А. Г. Экологические последствия антропогенных изменений почв// Итоги науки и техники. Сер. Почвоведение и агрохимия. — Т. 7. — М.: ВИНТИ, 1990.
- Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почв/ Пер. с рум. — М.: Агропромиздат, 1986.
- Сельскохозяйственная практика: противоречия перестройки/Сост. С.А.Никольский — М.: Агропромиздат, 1989.
- Сельскохозяйственная радиоэкология/ Под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. — М.: Экология, 1992.
- Сельскохозяйственные экосистемы/ Пер. с англ.; Под ред. Л. О. Карпачевского. — М.: Агропромиздат, 1987.
- Семенова-Тянь-Шаньская А. М. Мир растений и люди. — Л.: Наука, 1986.
- Смит Р. Л. Наш дом — планета Земля/Пер. с англ. — М.: Мысль, 1982.
- Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. — Т. I—III/ Под ред. Н. В. Красногорской. — СПб.: Гидрометеоздат, 1992.
- Соколов А. А. Вода: проблемы на рубеже XXI века. — Л.: Гидрометеоздат, 1986.
- Соколов В. И. Природопользование в США и Канаде: экономические аспекты. — М.: Наука, 1990.
- Соловьев В. А. Введение в экологию. — Л.: Изд-во ЛТА, 1982.
- Сосновский И. П. Редкие и исчезающие животные. — М.: Лесная промышленность, 1987.
- Состояние и тенденции развития современной агроэкологии//Итоги науки и техники. Сер. Растениеводство. — Т. 10. — М.: ВИНТИ, 1991.
- Социализм и природа/ М.Я.Лемешев, В.А.Анучин, К.Г.Гофман и др. — М.: Мысль, 1986.
- Споры о будущем: Окружающая среда/ А. М. Рябчиков, И. И. Альтшулер, С. П. Горшков и др.; Под ред. А. М. Рябчикова. — М.: Мысль, 1983.
- Тишлер В. Сельскохозяйственная экология. — М.: Колос, 1971.
- Тышкевич Г. Л. Охрана окружающей среды при интенсивном ведении сельского хозяйства. — Кишинев: Штиинца, 1987.
- Тышкевич Г. Л. Экология и агрономия. — Кишинев: Штиинца, 1991.
- Тюрюканов А. Н. О чем говорят и молчат почвы. — М.: Агропромиздат, 1990.
- Тюрюканов А. Н., Федоров В. М. Н. В. Тимофеев-Рессовский: биосферные раздумья. — М., 1996.
- Тяжелые металлы в системе «почва — растение — удобрение»/М. М. Овчаренко, И. А. Шильников, Г. Г. Вендили и др.; Под ред. М. М. Овчаренко. — М.: Пролетарский светоч, 1977.
- Уатт К. Экология и управление природными ресурсами/Пер. с англ. — М.: Мир, 1971.
- Уорд Б., Дюбо Р. Земля только одна/Сокр. пер. с англ. — М.: Прогресс, 1975.
- Фарб Г. Популярная экология/Пер. с англ. — М.: Мир, 1971.
- Федоров Е. К. Взаимодействие общества и природы.—Л.: Гидрометеоздат, 1972.
- Федоров Е. К. Экологический кризис и социальный прогресс. — Л.: Гидрометеоздат, 1977.
- Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. — М.: Наука, 1993.
- Федосеев А. П. Агротехника и погода.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.
- Фетбах М., Френдли А. Экоцид в СССР. Здоровье и природа на осадном положении/ Пер. с англ. — М.: Голос, 1992.
- Философские проблемы глобальной экологии/Под ред. Е. Т. Фадеева. — М.: Наука, 1983.
- Формирование окружающей среды и экономика природных ресурсов/Пер. с нем.; В. Грингмут, К. Кутчбаух, Г. Роос, Г. Штрайбель; Под ред. А. Н. Ворожука. — М.: Прогресс, 1982.
- Хрисанов Н. И., Осипов Г. К. Управление эвтрофированием водоемов. — СПб.: Гидрометеоздат, 1993.
- Человек и биосфера/Под ред. П. А. Садиненко. — Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовск. ун-та, 1977.
- Человек и земля/Сост. Р. С. Карпинская, Л. А. Никольский. — М.: Агропромиздат, 1988.
- Человек и мир растений/ Д. Д. Брежнев, О.Н.Коровина, В.Ф.Дорофеев, А. И.Коровин. — М.: Колос, 1982.
- Человек, общество, окружающая среда/ Под ред. И. П. Герасимова. — М.: Мысль, 1973.
- Человек — техника — природа/В. П. Ключников, О. Г. Приймак, В. Ф. Пересыпкин; Под ред. В. П. Ключникова. — Киев: Высшая школа, 1990.
- Чепурных Н.В. и др. Экономика природопользования: эффективность, ущербы, риски/ Н. В. Чепурных, А. Л. Новоселов, Л. В. Дунаевский. — М.: Наука, 1998.
- Черняков Б. А. США: сельское хозяйство, химизация, экология. — М.: Наука, 1991.
- Шаркань П. Мировая продовольственная проблема. — М.: Экономика, 1982.
- Шварц С. С. Экология человека: новые подходы к проблеме «человек — природам/Будущее науки. — М., 1976. — Вып. 9.
- Шварц С. С. Экологические закономерности эволюции. — М.: Наука, 1980.
- Шефер М. Управление программами по гигиене окружающей среды. — Женева — Москва, 1976.
- Шипунов Ф. Я. Оглянись на дом свой. — М.: Современник, 1988.
- Шнипер Р. И. Региональные предплановые исследования (экономический аспект). — Новосибирск: Наука, 1978.
- Эйхлер В. Яды в нашей пище. — М.: Мир, 1993.
- Экологическая альтернатива/Под ред. М. Я. Лемешева. — М.: Прогресс, 1990.

Экологическая биотехнология/Пер. с англ.; Под ред. К.Ф.Форстера, Д.А.Дж.Вейза. Пер. с англ. — Л.: Химия, 1990.

Экологически чистый регион: проблемы и пути решения//Зеленый мир.— 1991.— № 17-20.

Экологические системы. Адаптивная оценка в управлении/ Пер. с англ.; Под ред. К. С. Холина. - М.: Мир, 1982.

Экология и земледелие/Под ред. Е. Н. Мишустина. — М.: Наука, 1980.

Экономика природопользования/Под ред. Т. С. Хачатурова. — М.: Изд-во МГУ, 1990.

Яблоков А. В. Ядовитая приправа. — М.: Мысль, 1990.

Яблоков А. В., Остроумов Е. А. Охрана живой природы. — М.: Лесная промышленность, 1983.

Яншин А. Л., Мелуа А. И. Уроки экологических просчетов. — М.: Мысль, 1991.

Ярошенко В. Экспедиция «Живая вода». — М.: Молодая гвардия, 1989.

3. Методики, методические рекомендации и указания

Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценка экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. — М., 1986.

Глазковская М.А. Методологические основы оценки эколого-химической устойчивости почв к техногенным воздействиям. — М., 1997.

Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. — М., 1993.

Рекомендации (методические) по составлению территориальных комплексных схем охраны природы областей, краев, автономных республик. — М., 1988.

Сборник нормативно-методических документов по формированию федеральной системы комплексных территориальных кадастров природных ресурсов. — М., 1994.

Черников В. А. и др. Определение экотоксикантов в воде, воздухе, почве, растениях и продуктах растениеводства/В. А. Черников, В. Г. Попов, Л. В. Мосина. — М., 1995.

4. Словари, справочники, справочные пособия

Биологический энциклопедический словарь. — М.: Большая Российская Энциклопедия, 1995.

Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь. — Кишинев: Гл. ред. Молд. сов. энциклопедии, 1989.

Зенин А. А., Белоусова Н. В. Гидрохимический словарь. — Л.: Гидрометеиздат, 1988.

Кольцов А. С. Сельскохозяйственная экология: Учебно-справочное пособие. — Ижевск: Изд-во Удмуртск. ун-та, 1995.

Комментарий к Закону Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды»/Под ред. С. А. Боголюбова. — М., 1997.

Кондратюк Е. Н., Хархота А. И. Словарь-справочник по экологии. — Киев: Урожай, 1987.

Малашевич Е. В. Краткий словарь-справочник по охране природы. — Минск: Ураджай, 1987.

Окружающая среда: энциклопедический словарь-справочник/Пер. с нем. — М.: Прогресс, 1993.

Охрана природы: Международные организации, конвенции и программы. Информ.-справоч. изд./Сост. Ф. Я. Гордина и др. — М., 1995.

Охрана природы. Справочник/К. П. Митрюшкин, М. Е. Берлянд, Ю. П. Беличенко и др. — М.: Агропромиздат, 1987.

Природоохранные нормы и правила проектирования: Справочник/ Сост. Ю. Л. Максименко, В. А. Глухарев. — М.: Стройиздат, 1990.

Реймерс Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник. — М.: Мысль, 1990.

Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. — М.: Сов. энциклопедия, 1989.

Состояние биологических ресурсов и биоразнообразия России и ближнего зарубежья (1988-1993 гг.). — М.: ВНИИприрода, 1994.

Справочник по контролю за применением средств химизации в сельском хозяйстве/Под ред. В. П. Васильева. — Киев: Урожай, 1989.

Справочник по экологической экспертизе проектов/ О. Н. Трикаш, В. И. Андрейцев, В. С. Горбунов и др.; Под ред. М. А. Пустовойта. — Киев: Урожай, 1986.

Справочник предельно допустимых концентраций вредных веществ в пищевых продуктах и среде обитания/Сост. М. П. Беляев, М. И. Гнеушев, Я. К. Глотов, О. И. Шапов. — М., 1993.

Сытник К. М. и др. Биосфера. Экология. Охрана природы/К. М. Сытник, А. В. Брайон, А. В. Гордецкий. Справочное пособие. — Киев: Наукова думка, 1987.

Толковый словарь по охране природы/ В. В. Снакин, Ю. Г. Пузаченко, С. В. Макаров и др.; Под ред. В. В. Снакина. — М.: Экология, 1995.

Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник/Сост. Д. С. Орлов и др. — М.: Агропромиздат, 1991.

Экологический энциклопедический словарь. — М.: Издат. дом «Ноосфера», 1999.

Экология и охрана окружающей среды. Толковый терминологический словарь/ С. М. Вишнякова, Г. А. Вишняков, В. И. Алешукин, Н. Г. Бочарова. — М.: Всемирный следопыт, 1998.

Экология и экономика. Справочник/ О. Ф. Балацкий, П. Г. Вакулюк, В. М. Власенко и др.; Под ред. К. М. Сытника. — Киев: Политиздат Украины, 1986.

Экология человека: словарь-справочник/ Н. А. Агаджанян, И. Б. Ушаков, В. И. Торшин и др.; Под ред. Н. А. Агаджаняна. — М.: Крук, 1997.

Яблоков А. В., Реймерс Н. Ф. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы. — М.: Наука, 1992.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аварии радиационные 301
Агломерация 412
Агрolandшафт 436
Агроэкология 5
Агроэкосистема
— монодоминантная 174
— парцеллярная 139
— природоемкая 141
Адаптация
— организмов 23
— этологическая 23
Адсорбция 80
Азот
— биологический 177
— ювенильный 77
Азотфиксаторы 74
Актиномицеты 457
Аменсализм 43
Аммонификация 332
Аттрактанты 174
Афлотоксины 471
Ацидификация 186
Аэрация 332
- Баланс радиационный 22
Барьер биохимический 183
Бедленд 105
Бедствие экологическое 195
Безопасность продовольственная 116
Бензапирены 496
Бентос 204
Биогаз 427
Биогены 203
Биогеоценоз 53
Биогумус 332
Биокомплексы 64
Биомы 52
Биопотенциал почвенный 196
Биопрепараты 178
Биопродуктивность экологически оптимальная 194
Биостимуляторы 459
Биосфера 58
Биота экосистем 22
Биотехнология 288
Биотехносфера 88
Биотоп 27
- Биоценоз 23, 24
Бифенилы полихлорированные (ПХБ) 498
Бифуркация 94
Буферность 335
- Валентность экологического фактора 24
Вермикультивирование 331
Вещества
— биологически активные 334, 335
— почвы специфические органические 176
— ростовые 333
Вещество
— биокосное 63
— живое 62
Виды загрязнений 155
Воды подземные 404
Выброс предельно допустимый (ПДВ) 191
- Генофонд 123
Гетероауксины 333
Гиперурбанизация 412
Гомеостаз популяций 31, 57
Гормоны 333
Грибы микоризные 174
Группировки
— локальные 30
— парцеллярные 30
Гумификация 175
Гумус 176
ГХЦГ 490, 492
- ДЦТ (дуст) 490, 492
Деградация почв машинная 294
Дегумификация 184
Денитрификаторы 74
Денудация геологическая 182
Десорбция 80
Деструкторы 39
Детоксикация 169
Дефляция 186
Диазотрофы 177
Диапауза 20
Дигрессия почв 184
Диоксины 185, 494
Дисперсия 31
Доминанты 37

- Емкость
 - среды экологическая 55
 - территории 194
- Животные-фитофаги 21
- Загрязнение
 - почв 185
 - радиоактивное 300
 - тяжелыми металлами 382
 - физическое 415
 - химическое 415
 - шумовое 417
 - электромагнитное 415
- Задачи функциональные химизации 237
- Закон предельной урожайности 239
- Законы экологии Б. Коммонера 514
- Защита биологическая 494
- Земледелие
 - альтернативное 324
 - биодинамическое 326
 - органическое 325
 - органобиологическое 327
- Зона санитарно-защитная 290
- Известкование почв 263
- Излучения ионизирующие, действие
 - на животных 313
 - на растения 312
- Инактиваторы 197
- Ингибиторы физиологических процессов 457
- Индекс
 - загрязнения атмосферы комплексный (КИЗА) 400
 - разнообразия 37
 - экотоксикологический 252
- Инерция природных систем 438
- Инициация 425
- Интенсификация 5
- Инfiltrация 68
- Информация генетическая 22
- Ионосфера 63
- Кадастр
 - водный 128
 - детериационный 129
 - земельный 128
 - лесной 128
 - промысловый 128
- Карст 450
- Кислоты гуминовые 176
- Количество
 - допустимое остаточное (ДОК) 468
 - фоновое 497
- Комменсализм 43
- Комплекс
 - гидрологический 209
 - почвенно-биотический 169
 - почвенно-химический 209
 - почвенно-эрозионный 209
- Компоненты агроэкологического мониторинга 361
- Конвергенция
 - адаптивная 24
 - эволюционная 56
- Конкуренция 42
- Консорция 39
- Консументы 35, 38
- Контроль качества гумуса 373
- Концентрация
 - летальная 472
 - предельно допустимая (ПДК) 185, 471
 - среднегодовая 398
 - среднесуточная 398
- Копролиты 333
- Коэволюция 56
- Коэффициент
 - аккумуляции донной 402
 - биологического поглощения 194
 - радионуклидов растениями (КБП) 304
 - биологической утилизации 469
 - накопления в гидробионтах 402
 - всасывания радионуклидов у животных 308
 - гумификации растительных остатков 464
 - дискриминации радионуклидов в сельскохозяйственных цепочках (КД) 305
 - накопления радионуклидов растениями 304
 - перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию (К^п) 306
 - поправочные для растений 376
 - экологической стабилизации ландшафта
- Кратность накопления радионуклидов животными (F) 307
- Критерии
 - биохимические 393
 - ботанические 393
 - зоологические 394
 - оценки индикационные 403
 - экологической обстановки 388
 - почвенные 394
 - пространственные 395
 - экологические оценки деградации гумусовых соединений 374
 - экологического бедствия 389
- Круговорот
 - азота 74
 - биогенов 67
 - биологический 175
 - воды 72
 - калия 80
 - кислорода 77
 - серы 80
 - углерода 74
 - фосфора 79

- Ландшафт 436
 Литосфера 59, 63
 Любрициды 331
- Макрофауна почвенная 331
 Мелиорация 267, 507
 Мелиоранты 471
 Мероприятия защитные 317
 Метаболизм микробный 174
 Металлы тяжелые 335, 382, 472
 Метаногенез 285
 Метгемоглобинемия 489
 Миграция загрязняющих веществ 153
 Микориза 174
 Микотоксины 174, 471, 502
 Микоценозы 44
 Микроорганизмы
 - ассоциативные 177
 - денитрифицирующие 487
 - несимбиотические 177
 - нитрифицирующие 175, 487
 - свободноживущие 177
 - симбиотические 177
- Микроценозы 41
 Минерализация 175
 Минералы
 - вадозные 60
 - вторичные 175
 - первичные 175
- Модер 334
 Мониторинг
 - агрохимический 361
 - агроэкологический 358
 - базовый 340
 - биологический 340
 - биосферный 340
 - дистанционный 340
 - импактный 340
 - информационные данные 384
 - локальный 340
 - международный 340
 - микробиологический 380
 - национальный 340
 - непосредственный 340
 - объекты 365
 - полигонный 360
 - почвенный 361
 - региональный 340
 - санитарно-токсикологический 340
 - сельскохозяйственной сферы радиационный 315
 - формы 364
 - экологический 340
- Монодоминантность 26
 Мор 334
 Муль 334
 Мутуализм 43
- Нагрузка
 - биогенная 208
 - рекреационная 180
 - экологическая предельно допустимая (ПДЭН) 194
- Негэнтропия 102
 Нитраты
 - накопление в растениях 241, 479
- Нитриты 479
 Нитрификаторы 74
 Нитрификация 175
 Нитрозосоединения 487, 488, 501
 Ниша экологическая 27
 Ноосфера 89
 Нормативы
 - общегиgienические 471
 - органолептические 471
 - технологические 471
 - токсикологические 471
 - эколого-токсикологические 470
- Нэрозины 498
- Озоносфера 63
 Оксидоредуктаза 333
 Оптимизация агроландшафтов 434
 Оптимум биологический 24
 Организмы
 - автотрофные 34, 175
 - анаэробные 175
 - аэробные 175
 - гетеротрофные 34, 175
 - патогенные 23
 - стенобионтные 24
 - эврибионтные 24
- Органы
 - генеративные 481
 - репродуктивные 473
- Орошение 268
 Осушение 277
 Осцилляция 34
 Оценка
 - загрязнения атмосферного воздуха 397
 - воздушного бассейна интегральная 399
 - изменения среды обитания 396
 - состояния окружающей природной среды 391
 - эколого-токсикологическая агроэкосистем 371
 - почв 405
- «Память» почвы 183
 Парадигма 16
 Паразитизм 22,42
 Парцелла 41
 Паспортизация опытов 387
 Педосфера 169
 Переуплотнение почвы 294
 Период
 - биологически активный 176

- генеративный 33
- латентный 33
- постгенеративный 33
- предгенеративный 33
- сенильный 33
- Пессимум 24
- Пирамида экологическая 45, 493
- Подвижность тяжелых металлов 478
- Подошва плужная 292
- Подсистемы агроэкологического мониторинга
 - научная 359
 - производственная 359
- Показатель
 - качества продукции 368
 - миграционно-водный 191
 - миграционно-воздушный 191
 - общесанитарный 191
 - транслокационный 191
 - экологического неблагополучия 163
- Полихлорбифенилы 498
- Полициклические ароматические углеводороды 496
- Полосы лесные
 - прибалочные 230
 - приовражные 230
 - стокорегулирующие 230
- Поля
 - «биологические» 55
 - гравитационные 63
 - электромагнитные 63
- Популяция 29
- Поступление допустимое суточное (ДСП) 472
- Потенциал
 - агроклиматический 119
 - биотический 31
 - биоэнергетический 323
 - природно-ресурсный 119
 - экологический 119
- Почва 168
- Почвоотомление 174
- Преобладающие 37
- Принципы природопользования 118
- Природоемкость 126
- Природосообразность 237
- Проблемы питания людей 112
- Провокационность 26
- Прогноз почвенно-мелиоративный 282
- Программа по гумусовому состоянию почв 374
- Продуктивность
 - биологическая вторичная 133
 - первичная 133
- Продукты
 - жизнедеятельности вредителей 502
- Производство сельскохозяйственная экологически безопасная (чистая) 324, 336
- Продуценты 35, 38
- Протеаза 333
- Пруды
 - биологические 285
 - буферные 285
 - накопители 285
- Псевдопойма 233
- Равновесие биологическое 260
- Радионуклиды, миграция и поведение в агроценозах 301
- Радиоэкология сельскохозяйственная 300
- Растения — концентраторы химических веществ 193
- Реакции
 - фенотипические 56
 - фотопериодические 20
- «Революция зеленая» 330
- Регенерация элементов питания 52
- Регуляторы роста растений 235
- Редуценты 35, 39
- Рекультивация почв 197
- Рекуперация 425
- Репелленты 174
- Репродукция 167
- Ресурсоемкость 128
- Ресурсы
 - биосферы 105
 - биологические 119
 - биоэнергетические 441
 - водные 119
 - земельные 119
 - климатические 119
 - природные 119
 - рекреационно-культурные 452
- Рециркуляция 427
- Рециркуляция 83
- Ризосфера 177
- Рост населения 111
- Русла природно-миграционные 452
- Ряды эдафитоценозотические 52
- Самоочищение почвы 168
- Сертификация
 - пищевой продукции 510
 - экологическая 511
- Сестайнинг 140
- Сети пищевые 37, 57
- Сидераты 196, 484
- Симбиоз 22, 43
- Синергетика 98
- Синузии 41
- Система
 - интегрированная защиты растений 262, 263
 - контроля автоматизированная 369
 - мониторинга маршрутная 364
 - ходовая агрофильная 297
- Ситуация
 - экологически острая 388
 - экологическая чрезвычайная 195, 389
- Содержание фоновое 193

- Сообщества 34
- Сопротивление почвы удельное 294
- Состав
 - гранулометрический почвы 491
 - химический природных вод 370
- Способность почвы самоочищающая 183
- Среда
 - антропогенная 18
 - артеприродная 18
 - квазиприродная 18
- Средства
 - защиты растений 235
 - лекарственные в пищевых продуктах 500
- Сроки внесения удобрений 484
- Степень
 - гетерогенности 30
 - кислотности 264
 - токсичности 159
- Стиролы 174
- Стратосфера 63
- Структуры диссипативные 98
- Сукцессии 36
 - направленные 55
 - циклически обратимые 55
- Суффозия 450

- Таксоны внутривидовые 24
- Техногенез 149, 151, 156
- Тип ассоциации симбиотический (мутуалистический) 174
- Токсиканты 170
- Токсичность препаратов 472
- Толерантность 24
- Трансгрессии моря 91
- Трансформаторы 175
- Третьякорники 332
- Трихограмма 23
- Тропосфера 63

- Удобрения
 - азотные 240
 - калийные 247
 - органические 249
 - фосфорные 245
- Урбанизация 410
- Уровни
 - загрязнения критические 401
 - трофические 37
- Условия
 - природные 119
 - рельефа 21
- Устойчивость к загрязнению 162, 163
- Утилизация навозных стоков 284

- Фактор
 - абиотический 21
 - антропогенный 23
 - биогенный 21
 - биотический 22
 - внутренний ценотический 55
 - геоморфологический 21
 - гидрологический 21
 - гидрофизический 21
 - гидрохимический 21
 - зоогенный 22, 23
 - климатический 21
 - летальный 21
 - лимитирующий 21
 - линсогенный 23
 - мутагенный 21
 - орографический 21
 - популяционный 21
 - тератогенный 21
 - фитогенный 22
 - эволюционный 21
 - эдафический 21
 - экзогенный 182
 - экстремальный 21
- Ферментация субстрата 338
- Фитонциды 22
- Фитоплана 177
- Фитопланктон 83
- Фитотоксичность почв 192
- Фитофаги 21, 41
- Флуктуация 24, 34, 36, 56
- Фотосинтез 182
- Фульвокислоты 176
- Функции живого вещества 65

- Хищничество 42

- Цветение воды 208
- Цеолиты 196
- Цикл ресурсный 125
- Цикличность биосферных процессов 61

- Червь калифорнийский красный 332

- «Эволюция зеленая» 330
- Эвтрофирование 201
- Эдафон 170
- Эдафотип 28
- Эквиваленты экологические 27
- Экология факториальная 18
- Экологоемкость 128
- Экотипы 28
- Экотоп 27
- Эластичность природных систем 438
- Элементы биогенные 181
- Эмерджентность 64
- Энтропия отрицательная 102
- Эрозия
 - ветровая 292
 - водная 292
 - ирригационная 276
 - техническая 292

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i>	3
Глава 1. Краткий исторический очерк развития экологии	7
1.1. Накопление экологических знаний.....	7
1.2. Становление классической экологии ...	11
1.3. Формирование экологии видов, популяций, биоценозов.....	14
1.4. «Интегративный» период развития экологии.....	15
Глава 2. Природная среда и закономерности действия экологических факторов	18
2.1. Среда и экологические факторы.....	18
2.2. Действие экологических факторов на организмы.....	23
Глава 3. Экология популяций и сообществ. Биогеоценоз	29
3.1. Популяции.....	29
3.2. Сообщества.....	34
3.3. Взаимоотношения организмов в биоценозе.....	37
3.4. Структурная организация и классификация экосистем.....	43
3.5. Биогеоценоз.....	53
3.6. Функционирование естественных экосистем и агроэкосистем.....	53
3.7. Основные экологические концепции ...	57
Глава 4. Биосфера	58
4.1. Учение В. И. Вернадского о биосфере.....	58
4.2. Структурная организация веществ и функции живого вещества в биосфере.....	65
4.3. Биогеохимические круговороты основных химических элементов.....	72
4.4. Биотехносфера и ноосфера.....	82
4.5. Эволюция биосферы.....	91
4.6. Биосфера — открытая система.....	96
Глава 5. Ресурсы биосферы и проблемы продовольствия	104
5.1. Острота продовольственной проблемы.....	104
5.2. Ресурсы биосферы.....	105
5.3. Население.....	111
5.4. Проблемы питания людей.....	112
Глава 6. Природно-ресурсный потенциал сельскохозяйственного производства. Ресурсные циклы	117
6.1. Природные ресурсы.....	117
6.2. Ресурсные циклы.....	124
6.3. Кадастры.....	128
Глава 7. Сельскохозяйственные экосистемы (агроэкосистемы)	129
7.1. Роль сельского хозяйства в формировании первичной биологической продукции.....	129
7.2. Типы, структура, функции агроэкосистем.....	135
7.3. Круговорот веществ и потоки энергии в агроэкосистемах.....	144
Глава 8. Функционирование агроэкосистем в условиях техногенеза	150
8.1. Техногенез.....	150
8.2. Загрязнение окружающей среды.....	151
Глава 9. Почвенно-биотический комплекс как основа агроэкосистемы	168
9.1. Почвенно-биотический комплекс — целостная материально-энергетическая подсистема био(агро)ценозов.....	168
9.2. Биогеоценоцитарная деятельность микробного комплекса.....	174
9.3. Функциональная роль почвы в экосистемах.....	181
9.4. Антропогенное загрязнение почв.....	184
9.5. Нормирование содержания химических элементов в почве.....	190
9.6. Экологические основы сохранения и воспроизводства плодородия почв, защита от загрязнения тяжелыми металлами.....	196
Глава 10. Биогенное загрязнение вод в условиях интенсификации аграрного производства	201
10.1. Приток питательных веществ как фактор изменения экологического равновесия в водоемах. Возможности определения биогенной нагрузки.....	201
10.2. Экологические и санитарно-гигиенические последствия эвтрофирования вод.....	210
10.3. Сельскохозяйственные источники биогенной нагрузки.....	215
10.4. Определение выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий.....	226
10.5. Снижение биогенной нагрузки с помощью противоэрозионных инженерно-биологических систем (ПИБС).....	228
Глава 11. Экологические проблемы химизации	235
11.1. Применение минеральных удобрений.....	235
11.2. Применение химических средств защиты растений.....	249
11.3. Экологические аспекты известкования почв.....	263
Глава 12. Экологические проблемы орошения и осушения почв	264
12.1. Экологические последствия орошения.....	269
12.2. Экологические последствия осушения.....	277
Глава 13. Животноводческие комплексы и охрана природы	283
13.1. Отрицательное влияние отходов животноводства на окружающую природную среду.....	283

13.2. Методы очистки и утилизации навозных стоков.....	284	20.1. Общие положения.....	388
13.3. Использование биотехнологии для переработки отходов животноводства.....	288	20.2. Критерии оценки изменения среды обитания населения.....	396
13.4. Санитарно-защитные зоны и зеленые насаждения животноводческих ферм и комплексов.....	290	20.3. Оценка загрязнения атмосферного воздуха.....	397
Глава 14. Экологические проблемы механизации.....	291	20.4. Критерии оценки загрязнения водных объектов и деградации водных экосистем.....	401
Глава 15. Сельскохозяйственная радиэкология.....	300	20.5. Индикационные критерии оценки.....	403
15.1. Общие положения.....	300	20.6. Подземные воды.....	404
15.2. Источники радионуклидов в агро-сфере.....	300	20.7. Загрязнение и деградация почв.....	404
15.3. Миграция радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам.....	302	20.8. Изменения геологической среды.....	405
15.4. Действие ионизирующих излучений на растения, животных и агроценозы.....	312	Глава 21. Экология селитебных территорий ...	407
15.5. Радиационный мониторинг сферы сельскохозяйственного производства.....	315	21.1. Особенности современной экологической среды мест расселения человека....	407
15.6. Принципы ведения сельскохозяйственного производства и комплекс защитных мероприятий на территориях с повышенным содержанием радионуклидов.....	316	21.2. Проблемы физического загрязнения селитебной зоны.....	415
Глава 16. Альтернативные системы земледелия и их экологическое значение.....	322	21.3. Твердые отходы селитебной зоны. Воздействие их утилизации и ликвидации на агроэкосистемы.....	421
16.1. Общие положения.....	322	21.4. Оптимизация экологического состояния сельских поселений.....	429
16.2. Развитие альтернативного земледелия.....	324	Глава 22. Оптимизация агроландшафтов и организация устойчивых агроэкосистем.....	434
Глава 17. Вермикультура и биогуmus. Экологические аспекты подготовки и применения.....	330	22.1. Общие положения.....	434
17.1. Характеристика вермикультуры.....	330	22.2. Устойчивость и изменчивость агро-экосистем.....	437
17.2. Биогуmus и его агроэкологическая оценка.....	333	22.3. Основные принципы организации агроэкосистем.....	440
Глава 18. Мониторинг окружающей природной среды. Научные, методические и организационные основы его проведения.....	339	22.4. Оптимизация структурно-функциональной организации агроэкосистем — основа повышения их продуктивности и устойчивости.....	444
18.1. Основные задачи и схема мониторинга.....	339	22.5. Методологические основы экологической оценки агроландшафтов.....	448
18.2. Экологический мониторинг.....	347	22.6. Устойчивость агроэкосистем.....	452
18.3. Особенности проведения экологического мониторинга дистанционными методами.....	356	22.7. Реакция микробного сообщества на антропогенное воздействие.....	454
Глава 19. Агроэкологический мониторинг. Методические и организационные основы его проведения.....	358	22.8. Типы реакции агрофитоценоза на антропогенные воздействия.....	457
19.1. Агроэкологический мониторинг в интенсивном земледелии.....	358	22.9. Устойчивость агроэкосистем при разных системах земледелия.....	461
19.2. Компоненты агроэкологического мониторинга.....	361	22.10. Условия реконструкции и создания устойчивых агроэкосистем.....	464
19.3. Эколого-токсикологическая оценка агроэкосистем.....	371	22.11. Сбалансированность процессов минерализации и гумификации — интегральный показатель экологической устойчивости педосферы.....	468
19.4. Биогеохимические подходы к проведению агроэкологического мониторинга.....	380	Глава 23. Производство экологически безопасной продукции.....	470
19.5. Экологическая оценка загрязнения тяжелыми металлами.....	382	23.1. Эколого-токсикологические нормативы.....	470
19.6. Особенности проведения агроэкологического мониторинга на мелиорированных землях.....	382	23.2. Вещества, загрязняющие продукты питания и корма.....	472
19.7. Организация информационной базы данных агроэкологического мониторинга.....	384	23.3. Способы исключения или минимизации негативных воздействий загрязнений.....	505
Глава 20. Критерии оценки экологической обстановки территорий.....	388	23.4. Сертификация пищевой продукции.....	510
		Глава 24. Природоохранная деятельность в сельском хозяйстве.....	512
		24.1. Организация охраны природы.....	512
		24.2. Законы экологии Б. Коммонера.....	514
		24.3. Основные направления природоохранной деятельности.....	515
		24.4. Опыт охраны природы в сельском хозяйстве.....	518
		Заключение.....	519
		Литература.....	521
		Указатель.....	528

CONTENTS

●

<i>Introduction</i>	3	Chapter 8. Functioning of agroecosystems under the influence of technogenesis	150
Chapter 1. Brief historical outline of the development of Ecology	7	8.1. Technogenesis.....	150
1.1. Accumulation of ecological knowledge.....	7	8.2. Environmental pollution.....	151
1.2. Coming-to-be of classical ecology.....	11	Chapter 9. Soil biotic complex as a basis of agroecosystems	168
1.3. Forming of species, populations and biocenosis ecology.....	14	9.1. Soil biotic complex as an integral matter and energy subsystem of bio(agro)coenosis.....	168
1.4. Integrative developmental period of ecology.....	15	9.2. Biogeocoenotic activity of microbial complex.....	174
Chapter 2. Natural environment and functioning regularities of ecological factors	18	9.3. Functioning of the soil in ecosystems.....	181
2.1. Habitat and ecological factors.....	18	9.4. Anthropogenic pollution of the soil.....	184
2.2. Influence of ecological factors on living organisms.....	23	9.5. Standardisation of chemicals content in the soil.....	190
Chapter 3. Population and community ecology. Biogeocenosis	29	9.6. Ecological bases of soil fertility conservation and reproduction, protection of soil against heavy metal pollution.....	196
3.1. Populations.....	29	Chapter 10. Biogenous water pollution under intensification of agricultural production	201
3.2. Communities.....	34	10.1. Inflow of nutrients (biogenous substances) as a factor of ecological balance change in aquatic systems. Determination of biogenous load in aquatic systems.....	201
3.3. Organisms interrelations in biocenosis.....	37	10.2. Ecological and sanitary-hygienic consequences of water eutrophication.....	210
3.4. Structural organization and classification of ecosystems.....	43	10.3. Agricultural sources of biogenous load ...	215
3.5. Biogeocenosis.....	53	10.4. Determination of biogenous elements carry-over from agricultural lands.....	226
3.6. Functioning of ecosystems and natural agroecosystems.....	53	10.5. Reducing of biogenous load on aquatic systems by means of anti-erosion engineering and biological systems.....	228
3.7. Fundamental ecological conceptions.....	57	Chapter 11. Ecological problems of chemicalization	235
Chapter 4. Biosphere	58	11.1. Application of mineral fertilisation.....	235
4.1. V. I. Vernadsky's biosphere doctrine.....	58	11.2. Application of plant protection chemicals.....	249
4.2. Structural organisation of substances and functions of living matter in the biosphere.....	65	11.3. Ecological aspect of lime application.....	263
4.3. Biogeochemical cycles of major chemical elements.....	72	Chapter 12. Ecological problems of soil irrigation and drainage	264
4.4. Biotchnosphere and noosphere.....	82	12.1. Ecological consequences of soil irrigation.....	269
4.5. Evolution of the biosphere.....	91	12.2. Ecological consequences of soil drainage.....	277
4.6. Biosphere as an open system.....	96	Chapter 13. Animal husbandry and environmental protection	283
Chapter 5. Global Resources in the biosphere and food supply problem	104	13.1. Negative impact of stock-raising on the environment.....	283
5.1. Keeness of food supply problem.....	104	13.2. Methods of purification and recycling of manure waste.....	284
5.2. Resources in the biosphere.....	105	13.3. Application of biotechnological methods for recycling of stock-raising waster.....	288
5.3. Population.....	111		
5.4. Food supply problem.....	112		
Chapter 6. Natural resources potential of agricultural production. Resource cycles	117		
6.1. Natural resources.....	117		
6.2. Resource cycles.....	124		
6.3. Cadastral registers.....	128		
Chapter 7. Agricultural ecosystems (agroecosystems)	129		
7.1. Role of agriculture in the formation of primary biological production.....	129		
7.2. Types, structures and functions of agroecosystems.....	135		
7.3. Nutrient cycles and energy flow in agroecosystems.....	144		

13.4. Sanitary-protection zones and securing forest stand of cattle-breeding farms	290	20.5. Indication criteria of estimation	403
Chapter 14. Ecological problems of farm mechanisation	291	20.6. Underground water	404
Chapter 15. Agricultural radioecology	300	20.7. Contamination and degradation of soils	404
15.1. General principles	300	20.8. Changes of the geological environment ...	405
15.2. Sources of radio-active isotopes in the agrosphere	300	Chapter 21. Ecology of urban area	407
15.3. Migration of radio-active isotopes in agricultural food chains	302	21.1. Peculiarities of the modern ecological environment of human settlements	407
15.4. Influence of ionising radiation on plants, animals, and agrocoenosis	312	21.2. Examples of physical pollution of urban area	415
15.5. Radiation monitoring of the agricultural production sphere	315	21.3. Solid waste in urban area. Their recycling and elimination impact on agroecosystems	421
15.6. Principles of farm management and complex of protection measures in contaminated areas	316	21.4. Optimisation of the ecological situation in rural settlements	429
Chapter 16. Alternative farming systems and their ecological importance	322	Chapter 22. Optimisation of agricultural landscapes and development of sustainable agroecosystems	434
16.1. General principles	322	22.1. General principles	434
16.2. Development of alternative farming systems	324	22.2. Sustainability and changeability of agroecosystems	437
Chapter 17. Vermiculture and bio-humus. Ecological aspects of preparation and application	330	22.3. Basic principles of agroecosystem organisation	440
17.1. Description of vermiculture	330	22.4. Optimisation of structural and functional organisation of agroecosystems as a basis increasing their productivity and sustainability	444
17.2. Bio-humus and its agroecological evaluation	333	22.5. Methodological principles of ecological estimation of landscapes	448
Chapter 18. Environmental Monitoring. Scientific, methodical, and organisational aspects of its implementation	339	22.6. Sustainability of agroecosystems	452
18.1. Main tasks and scheme of monitoring....	339	22.7. Response of microbial community to anthropogenic impact	454
18.2. Ecological Monitoring	347	22.8. Types of response of agricultural phytocoenoses to anthropogenic impact.	457
18.3. Peculiarities of ecological monitoring implementation by remote sensing methods....	356	22.9. Sustainability of agroecosystems under different farming systems	461
Chapter 19. Agroecological monitoring. Methodical and organisational aspects of its implementation	358	22.10. Requisite conditions for reconstruction and creation of sustainable agroecosystems	464
19.1. Agroecological monitoring in intensive farming system	358	22.11. Balance between mineralization and humification processes as an integral indicator of ecological sustainability in the pedosphere	468
19.2. Components of agroecological monitoring	361	Chapter 23. Production of ecologically safe products	470
19.3. Ecological and toxicological evaluation of agroecosystems	371	23.1. Ecological and toxicological standards ..	470
19.4. Biogeochemical methods of approach to agroecological monitoring	380	23.2. Chemicals, contaminating food products, foodstuffs and forages	472
19.5. Ecological estimation of heavy metal pollution	382	23.3. Methods of reducing and minimisation of negative impact of pollutants	505
19.6. Peculiarities of monitoring implementation on improved lands	382	23.4. Certification of food products	510
19.7. Data base organisation in agroecological monitoring	384	Chapter 24. Environmental protection activities in agriculture	512
Chapter 20. Estimation criteris of territorial ecological situation	388	24.1. Organisation of environmental protection	512
20.1. General principles	388	24.2. Principles of Ecology by B. Commoner	514
20.2. Estimation criteria of human environment changes	396	24.3. Main directions of environmental protection activities	515
20.3. Evaluation of air pollution	397	24.4. Environmental protection experience in agriculture	518
20.4. Estimation criteria of aquatic objects pollution and ecosystem degradation	401	<i>Conclusion</i>	519
		<i>Bibliographical references</i>	521
		<i>Index</i>	528

Учебное издание

**Черников Владимир Александрович,
Алексахин Рудольф Михайлович,
Голубев Алексей Валерианович и др.**

АГРОЭКОЛОГИЯ

Учебник для вузов

Художественный редактор *Т. И. Мельникова*
Технический редактор *В. А. Маланичева*
Корректоры *М. Ф. Казакова, Л. Г. Новожилова*

Лицензия № 010159 от 06.03.97 г.

Сдано в набор 26.01.2000. Подписано в печать 05.04.2000. Формат 70x100¹/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Ньютон. Печать офсетная.

Усл.-печ. л. 43,55. Усл. кр.-отт. 43,55. Уч.-изд. л. 55,34. Изд. № 026.

Тираж 6000 экз. Заказ № 1384 «С» № 017.

Федеральное государственное ордена Трудового Красного Знамени
унитарное предприятие «Издательство «Колос»,
107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18.

Типография ОАО «Внешторгиздат», 127576, Москва, Илимская, 7.

ISBN 5-10-003269-3



9 785100 032693