О.А. Жигальский
О.Р. Белан

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Часть 2

Министерство образования Российской Федерации
ГОУВПО «Уральский государственный технический университет - УПИ»

Институт экологии растений и животных УрО РАН

О.А. Жигальский
О.Р. Белаи

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Часть 2
Курс лекций

Научный редактор -
профессор, доктор химических наук
Ю.В. Егоров

Екатеринбург
2004

УДК 574(075.8)
ББК 28.081 (075.8)
0 - 75

РЕЦЕНЗЕНТЫ:
кафедра экологии УрГУ им. М. Горького (проф., д-р биол. наук Ф.В. Кряжимский);

проф. д-р биол. наук Л.С. Некрасова (Уральский государственный лесотехнический университет)

Авторы: О.А. Жигальский, О.Р. Белан

0 – 75 Основы экологии: курс лекций/ О.А. Жигальский, О.Р. Белан. Екатеринбург: ГОУВПО УГТУ-УПИ, 2004. Ч.2. 195 с.
ISBN 5-321-00495-1

Курс лекций содержит системное изложение основ экологии. Излагаются основные механизмы и закономерности устойчивого существования биологических систем разного уровня в динамически изменяющихся условиях окружающей среды. Рассмотрены основы учения о биосфере и ее эволюции, вопросы антропогенного загрязнения и меры его предотвращения в основных составляющих биосферы (атмосфера, гидросфера и педосфера). Проблемы антропогенного влияния на экосистемы освещаются в аспекте общих экологических закономерностей, воздействия различных факторов. В заключительной главе рассмотрены вопросы экологической регламентации хозяйственной деятельности, а также эколого-экономические механизмы современного природопользования.

Библиогр.: 15 назв. Табл. 13. Рис. 34.

УДК 574(075.8)
ББК 28.081 (075.8)

ISBN5-321-00495-1

© ГОУВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ», 2004
©О.А. Жигальский, О.Р. Белан, 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Учение о биосфере и ее эволюции 6
1.1. Структура и состав биосферы 12
1.2. От техносферы к ноосфере 14
1.3. Круговорот веществ и химических элементов в биосфере 18
1.4. Эволюция биосферы 21
1.5. Прогноз естественной и антропогенной эволюции биосферы 22

Глава 2. Атмосфера

2.1. Общая характеристика атмосферы 26
2.2. Состав атмосферы 27
2.3. Радиационный режим атмосферы 36
2.3.1. Солнечная радиация 36
2.3.2. Ионизирующее излучение. Радиоактивность атмосферы 37
2.4. Перемещения воздушных масс и атмосферное давление 39

Глава 3. Гидросфера

3.1. Мировой водный баланс 44
3.2. Круговорот воды 47
3.3. Свойства воды 49
3.4. Источники пресной воды 52
3.5. Поверхностные и грунтовые воды 53
3.6. Использование пресных вод 57

Глава 4 Педосфера

4.1. Классификация почв 62
4.2. Свойства почв 63
4.3. Структура почвы 65
4.4. Типы почв 67
4.5. Земельные ресурсы: рациональное использование и охрана 67
4.6. Структура земельного фонда мира, материков и России 69

Глава 5 Антропогенное загрязнение биосферы 73

5.1. Классификация загрязнений окружающей среды 77
5.2. Загрязнение атмосферы 84
5.2.1. Естественное загрязнение атмосферы 84
5.2.2. Искусственное загрязнение атмосферы 86
5.2.3. Основные загрязнители атмосферы и их соединения 87

5.2.4. Окисление серы и образование едкого кислотного тумана 88
5.2.5. Воздействие серосодержащих веществ 89
5.2.6. Окись углерода 91
5.2.7. Парниковый эффект 92
5.2.8. Частицы в атмосфере 93
5.2.9. Фотохимическое загрязнение воздуха 96
5.2.10. Соединения свинца в воздухе 99
5.2.11. Меры по предотвращению загрязнений атмосферного воздуха 101
5.3. Загрязнение гидросферы 104
5.3.1. Загрязнение морей и океанов 104
5.3.2. Загрязнение нефтью и нефтепродуктами 105
5.3.3. Загрязнение тяжелыми металлами 107
5.3.4. Загрязнение материковых вод 108
5.3.5. Меры по очистке и охране вод 116
5.3.6. Основные методы очистки сточных вод 117
5.3.7. Основные способы улучшения качества воды 118
5.3.8. Основные технологические схемы водоподготовки 119
5.4. Разрушение и загрязнение почвенного покрова 126
5.4.1. Эрозия почв 127
5.4.2. Загрязнение почв 137
5.4.3. Засоление и закисление почв 140
5.4.4. Загрязнение почв пестицидами 141
5.4.5. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами 144
5.4.6. Рекультивация земель 146

Глава 6. Экологическая регламентация хозяйственной деятельности 149

6.1. Мониторинг 149
6.2. Экологическое нормирование 154
6.2.1. Нормирование и стандарты в природопользовании 156
6.2.2. Экологические нормативы экосистемы 156
6.2.3. Нормирование качества компонентов окружающей среды 157
6.2.4. Нормирование выбросов в атмосферу 163
6.2.5. Нормирование сбросов в водные объекты 165
6.2.6. Нормирование обращения с твердыми отходами 166
6.2.7. Нормативно - техническая документация 167
6.3. Лицензирование природопользования 168
6.4. Экологическая сертификация 169
6.5. Экологический аудит 173
6.6. Экологическое страхование - элемент экономического механизма природопользования 178
6.7. Эколого-экономическая экспертиза 179
6.8. Эколого-экономическая сущность, система платежей 182

6.9. Финансирование мероприятий по природопользованию 185
6.10. Стимулирование рационального природопользования 188
6.11. Экологический менеджмент 191
Рекомендуемая литература 195

Глава 1

Учение о биосфере и ее эволюции

В развитие биологии XX века большой вклад внесли российские ученые. Русская биологическая школа имеет славные традиции. Первые модели происхождения жизни созданы А.И. Опариным. В.В. Докучаев создал учение о почве как своеобразной оболочке Земли, являющейся единым целым, включающим в себя живые и неживые компоненты. Методология его исследования заключалась в комплексном охвате разнокачественных природных объектов и явлений и поисках интегральных характеристик процесса их развития. Этот подход явился ключом к созданию синтетической концепции о биосфере земли, создал которую В.И. Вернадский. По существу, учение о биосфере В.И. Вернадского было продолжением и распространением идей В.В. Докучаева, но было основано на строгой количественной основе, которая впоследствии позволила сформулировать многие эмпирические обобщения.

Термин *биосфера* впервые ввел Э. Зюсс (1875), который ставил биосферу в один ряд с другими геологическими оболочками, включающей в себя совокупность всех живых организмов Земли. В первой половине XX века. В. И. Вернадский дополнил определение Э Зюсса - биосфера представляет собой оболочку Земли, включающую как область распространения живого вещества, так и само это вещество. Биосфера возникла 3,4 - 4,5 млрд. лет назад и есть не просто сочетание абиотической области распространения живого вещества, но и тесное их взаимодействие - биосфера закономерный продукт эволюции Земли. К такому выводу В.И. Вернадский пришел, исследовав химический состав и химическую эволюцию земной коры, убедившись в том, что они не могут быть объяснены чисто геологическими причинами без учета роли живого вещества в геохимической миграции атомов. Живое вещество (т. е. совокупность всех живых организмов планеты) является с геохимической и биогеохимической точек зрения функцией биосферы - оно глубочайшим образом материально и энергетически связано с ней.

И до В. И. Вернадского было известно, что живые организмы участвуют в круговороте многих химических элементов, в образовании так называемых органогенных горных пород и минералов. Но только автор «Биосферы» указал на участие живого вещества в круговороте всех химических элементов.

В. И. Вернадский показал, что проявления жизни глубочайшим образом меняют течение всех химических реакций в земной коре, что живое вещество изменяет историю почти всех химических элементов, что чуть ли не каждый из них проходит в общей цепи превращений через биогеохимическое звено. Жизнедеятельность организмов - это глубокий и мощный геологический процесс. Химические реакции в биосфере протекают или при непосредственном участии живых организмов, или в среде, физико-химические особенности которой во многом обусловлены деятельностью

организмов на протяжении всей геологической истории. Масштабы геохимической работы живого вещества таковы, что в течение краткого момента времени через живые организмы может пройти все вещество биосферы. Так, весь кислород земной атмосферы, являясь продуктом процесса фотосинтеза, обновляется благодаря жизнедеятельности зеленых хлорофилловых растений каждые 2 тыс. лет, а все молекулы углекислоты, участвующие в процессе фотосинтеза, - каждые 300 лет. Живое вещество совершенно изменяет химию моря. Могущественной в геохимическом отношении формой живого вещества является подземная жизнь, идущая на глубине более 3 км, связанная с водой (рис.1.1).

Биосфера охватывает часть атмосферы до высоты озонового слоя (20–25 км), выше которого ультрафиолетовая часть солнечного спектра исключает существование жизни, часть литосферы (верхняя часть твердой поверхности земной коры), особенно кору выветривания и всю гидросферу (рис. 1.1). Нижняя граница биосферы опускается на 2 - 3 км на суше и на 1 - 2 км ниже дна океана, но, вероятно, в зависимости от рельефа она может опускаться и гораздо глубже - на 15-18 км и более, что соответствует изотерме 100^0 С. К биосфере также относится и человеческое общество с его производством.

После смерти и разрушения живых организмов большая часть составляющих их атомов опять возвращается в живое вещество. Но некоторая, очень незначительная их часть на долгое время выходит из жизненного цикла за пределы биосферы. «Вся земная кора целиком, на всю доступную нашему наблюдению глубину, изменена этим путем», - писал В.И. Вернадский. И даже неорганическая материя биосферы, отмечал он, «есть в значительной мере создание жизни».

Живое вещество, несмотря на огромное разнообразие слагающих его организмов, едино в своей вещественной, атомной основе. Но процесс атомной миграции связывает между собой не только сами организмы. Ни на секунду не прекращается биогеохимическая миграция из организма в среду и обратно. Эта миграция была бы невозможна, если бы химический элементарный состав организмов не был близок к химическому составу земной коры. Однако последний определяется в конечном счете не чисто геологическими причинами, а факторами космического характера. Космические, ядерные процессы оставили свой след и на облике планеты, и на материальном субстрате планетного явления - жизни.

В живых организмах явно преобладают легкие элементы: H, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca (из тяжелых распространенным является лишь один - Fe). Эти элементы образуют в организмах такие соединения, которые, как правило, вне живого вещества не наблюдаются. Особое значение в жизни организмов имеют радиоактивные элементы.

Специальные исследования показали, что по химическому составу можно определять и различать биологические виды, рода и семейства так же, как и по морфологическим признакам.

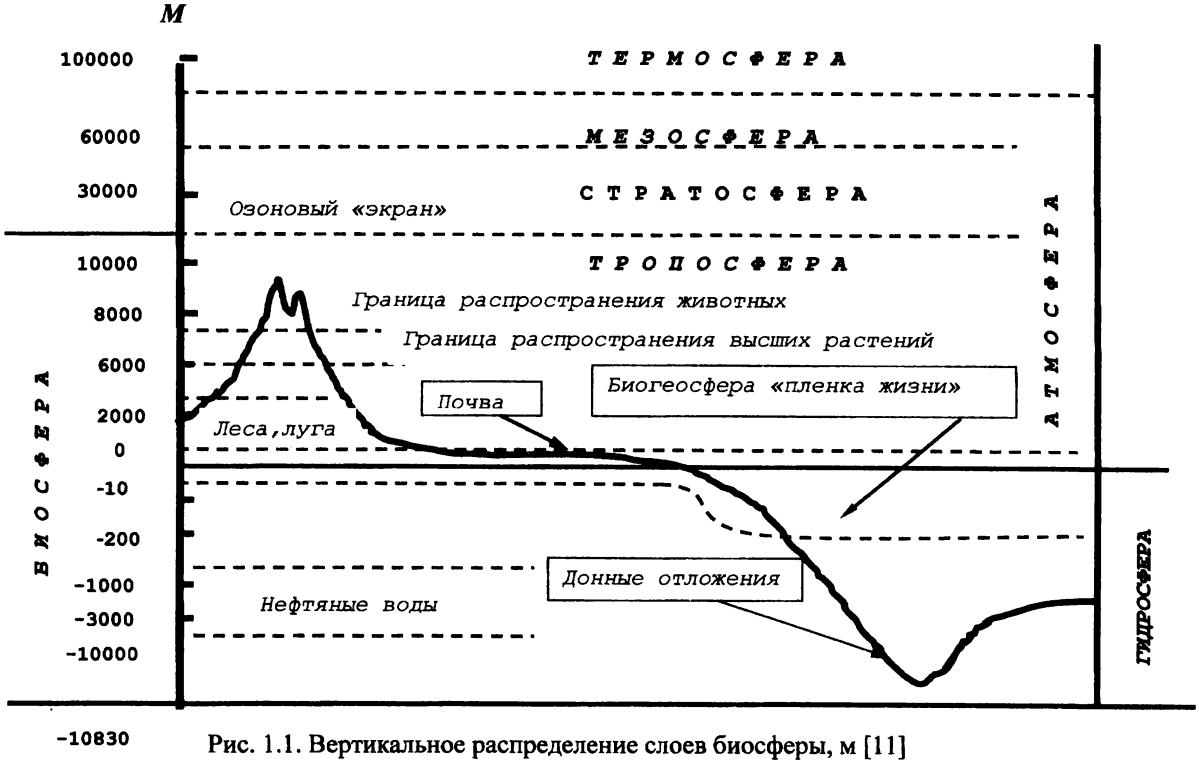

Рис. 1.1. Вертикальное распределение слоев биосферы, м [11]

Однако в отличие от признаков морфологических и физиологических химический видовой признак связывает между собою не только все организмы и все живое вещество в целом, но он теснейшим образом связывает все организмы с химией земной коры, с историей ее изменений. Биогеохимические исследования показали, что в ходе геологической истории организмы как бы привыкли (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, поэтому «химический состав организмов хранит признаки своего происхождения».

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 ряд функций: газовую, окислительно-восстановительную, концентрационную (для различных химических элементов), функцию разрушения органических соединений и их восстановления и др.

Биогеохимические функции биосферы многообразны, но это многообразие имеет единую сущность: в своем глобальном, космическом проявлении «сфера жизни» выступает как гигантский *аккумулятор* и уникальный *трансформатор лучистой энергии Солнца.* Благодаря биосфере - приемнику космического излучения на всей нашей планете - осуществляется активная связь Земли с Космосом. Если бы на Земле не было жизни, не было биосферы, работа солнечного луча сводилась бы лишь к перемещению газообразных, жидких и твердых тел по поверхности планеты и к временному их нагреванию. Солнечная энергия не совершала бы на Земле созидательной деятельности, так как она не могла бы ни удержаться на ней, ни преобразоваться в необходимую для этого форму.

Благодаря геохимической работе живого вещества и, прежде всего, зеленых хлорофилловых растений, осуществляющих процесс фотосинтеза, соединения атомов в биосфере отличаются особой сложностью строения и большими запасами заключенной в них энергии. Явление фотосинтеза было открыто задолго до В. И. Вернадского. Однако исследователи фотосинтеза, в том числе и К. А. Тимирязев, обращали, в первую очередь, внимание лишь на собственно-биологическую сторону процесса, на самоподдержание жизни путем улавливания излучений. В. И. Вернадский же показал, что роль фотосинтеза значительно больше - благодаря ему 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 равновесие, которое присуще поверхности планеты.

Солнечное излучение улавливается растительностью. Но в удержании и преобразовании энергии Солнца принимает участие все живое вещество планеты. Количество солнечной энергии, аккумулируемой живым вещест-

вом, колоссально: ежегодно в процессе фотосинтеза растения связывают $1,7*10^{18}$ ккал энергии. По данным Л. Я. Ставровского, общая сумма суточной работы, совершаемой живыми организмами Земли, выражается значением 1875 биллионов тонно-километров. В то же время живое вещество по весу составляет ничтожную часть планеты (0,01% массы земной коры). Поглощая постоянно из окружающей среды энергию (зеленые растения - непосредственно в форме квантов солнечного света, другие организмы - в форме выработанного растениями органического материала), живые существа накапливают ее, в результате чего количество энергии в биосфере увеличивается. В связи с этим общее направление природных процессов в поверхностной оболочке планеты противоположно тому, которое следовало бы из второго начала термодинамики. Говоря словами Э. Шредингера, живое вещество постоянно извлекает из космоса «отрицательную энтропию», которая представляет собою «нечто весьма положительное». Энтропия окружающей среды уменьшается, «организованность» ее возрастает, и это возрастание идет неуклонно с ходом геологического времени.

«Организованность» биосферы, тесно связанная с пониженным ее энтропии, наиболее ярко проявляется во взаимной приспособляемости организма и среды, их взаимосогласованности и взаимовлиянии. При этом живое вещество есть «функция биосферы», а биосфера есть результат развития живого вещества как планетарного явления, служащего могучей геологической силой, связанной с другим веществом биосферы биогенной миграцией атомов. Одна из сторон этого взаимодействия - зависимость организма от среды обитания – представлена многочисленными исследованиями и наиболее полно раскрыта биологической наукой от Ламарка и Дарвина до современных научных исследований. Но другая ее часть - влияние живого вещества на среду - почти не изучалось до В. И. Вернадского. Указывая, что связь живого и неживого в биосфере является взаимной, он писал: «Организм имеет дело со средой, к которой он не только приспособлен, но которая приспособлена к нему». Конечно, здесь имеется в виду не отдельный организм, а совокупность проявления больших комплексов живых организмов.

Биосфера - не только «организованность». Она - своеобразный «механизм», в котором связь и соотношение между живым и неживым веществом подчиняются точным, строго математическим закономерностям, таким же непреложным, как законы движения небесных тел или же перемещений в системах атомов. Улавливая и перерабатывая солнечную энергию, живое вещество переносит эту энергию по земной поверхности. Геохимически эта работа осуществляется благодаря размножению организмов. Материально энергетический «напор жизни» на среду подобен распространению, живое вещество преодолевает сопротивление среды, стремится занять максимальный объем, распространиться на всю свободную территорию.

Размножение - главный и основной вид этого метаболического «вихря» атомов, благодаря которому ни на мгновение не прекращается материально-энергетическая связь между организмом и средой и в котором ярче всего проявляется геохимическая энергия жизни. При всей своей изменчивости во

времени и пространстве процесс размножения, а вместе с ним процесс материально-энергетического обмена в биосфере строго ритмичен, он совершается «с удивительной неизменностью и математической правильностью». Этот ритм определяется постоянством астрономических явлений - постоянством периода обращения Земли вокруг оси и постоянством периода обращения Земли вокруг Солнца. 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 и заключенной в них геохимической энергии.

Постоянство темпа размножения живого вещества обусловило большую устойчивость всех химических реакций земной коры. Изменение этой устойчивости «означало бы нарушение всех веками установившихся циклов химических превращений в земном шаре». Среднее количество особей, появляющихся в биосфере благодаря размножению в единицу времени, является мерой геохимической энергии живого вещества или мерой производимой им работы. У различных биологических видов количество присущей им энергии различно и является, как отмечал В. И. Вернадский, важнейшим видовым признаком.

Геохимическую энергию жизни можно представить как кинетическую. Когда вся свободная площадь будет заселена, дальнейшее воспроизводство потомства будет невозможно, кинетическая энергия размножения перейдет в потенциальную. Процесс размножения подчиняется правилу инерции, т. е. может быть задержан только внешними факторами (отсутствием места для обитания, недостатком пищи, неподходящей температурой и другими).

Точные данные о геохимической энергии живых организмов, выраженные математически, позволяют совершенно по-иному взглянуть на органический мир: за видимостью и случайностью многообразия жизненных форм раскрывается их глубокое внутренне необходимое и закономерное взаимодействие. Жизнь строго согласована в своих тончайших проявлениях и является частью одного стройного целого - материального мира.

Изучая распределение химических элементов по поверхности планеты, В.И. Вернадский пришел к выводу, что нет практически ни одного элемента из таблицы Менделеева, который не включался бы в живое вещество. Он сформулировал четыре биогеохимических принципа.

1. Биогенная миграция химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению. Этот принцип в наши дни нарушается человеком.

2. Любой организм может существовать только при условии тесной постоянной связи с другими организмами и неживой природой.

3. Эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию устойчивых в биосфере форм жизни, идет в направлении, усиливающем биогенную миграцию химических элементов. Совершенствуясь в процессе эволюции, живые организмы все шире распространяются по планете, стимулируя перераспределение энергии и вещества. Этот принцип при интенсивном антропогенном воздействии начинает действовать аномально.

4. Живое вещество находится в непрерывном химическом обмене с окружающей его средой, создающейся и поддерживающейся на Земле за счет космической энергии Солнца. Вследствие нарушения двух первых принципов космические воздействия из поддерживающих биосферу могут превратиться в разрушающие ее факторы.

1.1. Структура и состав биосферы

Все многообразие веществ, входящих в состав биосферы, можно представить следующими обобщенными типами:

Живое органическое вещество, которое можно рассматривать в качестве носителя свободной энергии в биосфере.

Биогенное вещество – создаваемое и перерабатываемое живыми организмами (горючие ископаемые, известняки и т.д.).

Косное вещество образуется в результате процессов, в которых живые организмы не принимают участия (горные породы, возникшие в результате вулканической деятельности, метеориты, космическая пыль и т.д.).

Биокосное вещество, которое образуется в результате одновременного действия живых организмов и процессов неорганической природы (например, почва).

Радиоактивное вещество и связанное с ним ионизирующее излучение всегда существовали в космическом пространстве и входят в состав Земли с самого ее зарождения.

Основу биосферы как геологической оболочки составляет живое вещество, которое обладает определенной массой. По разным подходам она оценивается в 10^{12} - 10^{13} т. Масса живого вещества дискретна. Она представлена большим разнообразием форм. В живом веществе находятся все элементы, отмеченные в таблице Д.И. Менделеева, но количественно преобладают всего четыре: кислород, водород, углерод, азот. На них приходится 96% массы. По-видимому, за 3,5 млрд. лет существования живого вещества содержание этих элементов существенно не менялось, а основные колебания в химическом составе связаны с содержанием других элементов, прежде всего кальция и кремния. Специфика химического состава отдельных групп живых организмов формируется не на отдельных химических элементах, а на органических веществах: белках, жирах, углеводах и др.

Дискуссионным является вопрос об изменении массы живого вещества в геологической истории Земли. Существуют две точки зрения на эту проблему:

- масса живого вещества есть величина постоянная;
- масса живого вещества постоянно увеличивается.

Первая исходит из предположения о неизменности прихода солнечной энергии на поверхность Земли (солнечная постоянная) как следствия космического положения планеты. Допускается кратковременное (по геологическим масштабам) изменение массы живого вещества, связанное с перераспределением воды и суши.

Вторая связывает увеличение разнообразия жизни в ходе геологического времени с соответствующим увеличением массы. Увеличение разнообразия живого фиксируется как эмпирическое обобщение. Следует отметить, что прямой связи между увеличением массы живого вещества и биоразнообразием нет, так как согласно принципу сохранения при постоянном количестве энергии увеличение разнообразия одних живых организмов возможно только за счет уменьшения численности других.

Одной из основных характеристик живого вещества является запас свободной энергии. Свободная энергия живого вещества есть солнечная энергия, превращенная в энергию химических связей в процессе фотосинтеза зеленых растений и растекающаяся по поверхности Земли благодаря способности регулировать проявления собственных процессов.

По этой характеристике в неорганическом мире с живым веществом могут быть сопоставлены только незастывшие лавовые потоки. Но они недолговечны. Живое же вещество оказывает непрерывное воздействие на окружающий его мир. Эта способность проявляется через функцию размножения, которая обеспечивает растекание (заселение, агрессию) живого по поверхности. Процесс заселения планеты есть одно из следствий геометрической прогрессии размножения живых организмов, и он ограничивается размерами самой планеты.

Скорость заселения земной поверхности тем или иным видом есть характеристика его геохимической функции. Чем больше скорость заселения, тем сильнее вид оказывает влияние на окружающую среду, поэтому основной вклад в изменение геохимического окружения вносят микроорганизмы.

В механизме формирования земной коры живое вещество выступает тем активным началом, в процессе которого меняются газовый состав атмосферы, минерало- и почвообразование, состояние гидросферы. Геохимическая функция живого вещества осуществляется через питание, дыхание и размножение особей всех видов живых организмов.

Процесс переработки окружающей среды живыми организмами начинается с превращения в зеленых растениях электромагнитного излучения Солнца в энергию химических связей (фотосинтез), усиливается разнообразием пищевых взаимодействий живых организмов (продуценты - консументы - редуценты) и регулируется размножением.

Основное следствие питания живых организмов - концентрация органического и неорганического веществ. Концентрационная функция живого вещества есть процесс отбора организмами из окружающей среды необходимых им химических элементов. В.И. Вернадский выделяет два основных типа этого процесса:

1. Концентрационная функция первого рода: захват живыми организмами тех химических элементов, соединения которых встречаются во всех живых организмах. К ним он относит H, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe.

2. Концентрационная функция второго рода связана с сильно выраженной концентрацией отдельными группами живых организмов определенных

элементов. Не все элементы необходимы организмам в одинаковых количествах, не все накапливаются в них в равной степени.

Дыхание живых организмов интегрируется в газовую функцию биосферы. Она реализуется в виде различных частных функций: кислородной, азотной, углекислотной, углеводородной, сероводородной и т.п.

Газовый состав атмосферы (особенно ее нижней части - тропосферы) самым тесным образом связан с деятельностью живого вещества. Ее основные компоненты - кислород и азот.

Содержание кислорода в современной атмосфере - результат процесса фотосинтеза, протекающего в клетках зеленых растений, и дегазации глубинных океанических вод. Фотосинтетический кислород поставляет в атмосферу водная и континентальная растительность. Вторая, значительная часть кислорода атмосферы - магматический кислород, который образуется при изливаниях магмы.

Азот – один из главных по объему и массе газ атмосферы. В земной коре азот известен в виде ионов NO_3^- и NH_4^+. Соли азотной кислоты встречаются редко. Легкая растворимость в воде не способствует сохранению их в ископаемом состоянии. Кроме атмосферы больше всего азота, содержится в живых организмах. Без азота жизнь, в том виде как она нам известна на Земле, невозможна. Существует целая группа живых организмов, способная поглощать азот прямо из атмосферы - азотфиксаторы. С них начинается биотический круговорот азота. Возможен и другой путь превращения инертного атмосферного азота в доступные растениям ионные формы. Установлено, что при грозовых разрядах воздух ионизируется с образованием активных ионов азота. Взаимодействие с водой приводит к образованию азотной и азотистой кислот, которые выпадают вместе с дождями на Землю.

1.2. От техносферы к ноосфере

Со времени отделения рода *Homo sapiens* от других живых организмов человечество заселяет большую часть планеты. Это явление нельзя назвать случайным, его корни лежат глубоко и подготавливались всем ходом естественно-исторического процесса, связанного, по мнению В.И. Вернадского, с созданием человеческого мозга. Выделение человека из всех живых организмов есть проявление длительного природного процесса, который в настоящее время создал новую геологическую силу, где главным элементом, прежде всего, является человек с его мышлением, а результаты его умственного труда в форме научной мысли материализовались в различных машинах, механизмах, технологических процессах. Человек - единственная известная в науке сила природы, которая определенными волевыми актами способна увеличивать долю энергии Солнца, аккумулируемой на поверхности Земли, и уменьшать количество энергии, рассеиваемой в мировое пространство.

Посредством труда и научной мысли человек включен в биосферный круговорот вещества и энергии, сопровождающийся ростом свободной энергии. Человек, перерабатывая материальные потоки вещества и энергии, увеличивает скорость протекания процессов жизнедеятельности, а следователь-

но, и скорость или темпы роста свободной энергии биосферы, обеспечивая неубывающий рост своих возможностей.

Глобальный характер взаимоотношений человека со средой его обитания привел к появлению понятия ноосферы, введенного Э. Леруа, а затем к концепции ноосферы, развитой П. Тейяром де Шарденом. Ноосфера по Тейяру де Шардену (1927 г.), - это коллективное сознание, которое станет контролировать направление будущей эволюции планеты и сольется с природой в идеальной точке Омега, подобно тому, как раньше образовывались такие целостности, как молекулы, клетки и организмы. «Мы беспрерывно прослеживали последовательные стадии одного и того же великого процесса. Под геохимическими, геотектоническими, геобиологическими пульсациями всегда можно узнать один и тот же глубинный процесс - тот, который, материализовавшись в первых клетках, продолжается в созидании нервных систем. Геогенез переходит в биогенез, который в конечном счете ничто иное, как психогенез... Психогенез привел нас к человеку. Теперь психогенез стушевывается, он сменяется и поглощается более высокой функцией - вначале зарождением, затем последующим развитием духа — ноогенезом».

Свою интерпретацию концепции ноосферы дал на основе учения о биосфере В.И. Вернадский. Как живое вещество преображает косную материю, являющуюся основой его развития, так человек неизбежно обладает обратным влиянием на природу, породившую его. Как живое вещество и косная материя, объединенные цепью прямых и обратных связей, образуют единую систему - биосферу, так человечество и природная среда образуют единую систему - ноосферу.

Развивая концепцию ноосферы вслед за Тейяром де Шарденом, В.И. Вернадский рассмотрел то, как на основе единства предшествующей стадии взаимодействия живой и косной материи на следующей стадии взаимодействия природы и человека может быть достигнута гармония. Ноосфера, по В.И. Вернадскому, «такого рода состояние биосферы, в котором должны проявляться разум и направляемая им работа человека как новая небывалая на планете геологическая сила».

Вернадский развил концепцию ноосферы как растущего глобального осознания усиливающегося вторжения человека в естественные биогеохимические циклы, ведущего, в свою очередь, к все более взвешенному и целенаправленному контролю человека над глобальной системой.

К сожалению, В.И. Вернадский не закончил работу по развитию данной идеи. В концепции ноосферы представлен в полной мере один аспект современного этапа взаимодействия человека и природы - глобальный характер единства человека с природной средой. В период создания этой концепции противоречивость данного взаимодействия не проявилась с такой силой, как сейчас. В последние десятилетия в дополнение к глобальному характеру взаимоотношений человека и природной среды обнаружилась противоречивость этого взаимодействия, чреватая кризисными экологическими состояниями. Стало ясно, что единство человека и природы противоречиво хотя бы в том плане, что из-за увеличивающегося обилия взаимосвязей между ними

растет экологический риск как плата человечества за преобразование природной среды.

За время своего существования человек сильно изменил биосферу. По мнению Н.Ф. Реймерса, «люди искусственно и нескомпенсированно снизили количество живого вещества Земли не менее чем на 30% и забирают в год не менее 20% продукции всей биосферы» [10]. Такие цифры недвусмысленно свидетельствуют о том, что антропогенное изменение биосферы зашло слишком далеко. Биосфера превращается в техносферу, причем направленность антропогенного воздействия прямо противоположна направленности эволюции биосферы. Можно сказать, что с появлением человека начинается нисходящая ветвь эволюции биосферы - снижаются биомасса, продуктивность и информационность биосферы. Антропогенные воздействия разрушают естественные природные системы. Как полагает Н.Ф. Реймерс, «вслед за прямым уничтожением видов следует ожидать самодеструкции живого. Фактически этот процесс и идет в виде массового размножения отдельных организмов, разрушающих сложившиеся экосистемы». Таким образом, пока еще нельзя ответить на вопрос, создаст ли в будущем человек сферу разума или своей неразумной деятельностью погубит и себя, и все живое.

С выходом человека в космос область взаимодействия человека с природной средой перестала ограничиваться сферой Земли, и ныне данное взаимодействие пролегает по маршрутам космических кораблей. Понятие «ноосистема» в наше время, возможно, было бы более точным, чем понятие «ноосфера», поскольку последняя после выхода людей в космос уже не соответствует пространственной конфигурации воздействия человека на природу. Понятие «ноосистема» предпочтительнее и в плане научного анализа экологической проблемы, так как оно ориентирует на применение развиваемого во второй половине XX века системного подхода к изучению объективной реальности.

Имеется еще одно важное соображение, не учтенное в концепции ноосферы. Человек взаимодействует со средой обитания не только разумно, но и чувственно, поскольку он сам существо не только разумное, а разумно-чувственное, в котором разумный и чувственный компоненты сложным образом переплетены. Конечно, чувственное не следует отрывать от разумного и чувства могут быть, как осознаны, так и нет. Тем не менее, проведение здесь определенных различий вполне уместно и предохраняет от односторонних трактовок. Ноосферу не обязательно следует понимать как некий экологический идеал, поскольку не всегда с экологической точки зрения хорошо то, что преимущественно рационально, а само понятие разумного исторически изменчиво. Так, все современные технологические схемы, конечно же, по своему разумны и рациональны в традиционном смысле слова, но часто дают отрицательный экологический эффект. В то же время такое чувство, как любовь к природе, не всегда может быть рационально интерпретировано и, тем не менее, способно весьма положительно повлиять на общую экологическую обстановку.

Однако концепция ноосферы сохраняет ценность, поскольку представляет единство человека и природы в виде процесса - ноогенеза, ведущего к становлению единой системы человек - природная среда. Ноогенез - один из аспектов процесса становления родовой сущности человека, и его нельзя остановить, не отказываясь от актуализации и совершенствования потенциальных возможностей, заложенных в человеке как виде. Стремление к осуществлению своих целей в природе останется, по-видимому, главенствующим в определении человеком перспектив его взаимоотношений с природой с того момента, как он перешел от защиты своей видовой специфики к превращению ее в важный фактор формирования новых природных процессов.

В целом концепция ноосферы напоминает натурфилософские построения. Становление ноосферы - возможность, но не необходимость. Ценность этой концепции в том, что она дает конструктивную модель вероятного будущего, а ее ограниченность в том, что она рассматривает человека как, прежде всего, разумное существо, тогда как индивиды и тем более общество в целом редко ведут себя по настоящему разумно. Пока человечество движется отнюдь не к ноосфере, и последняя остается одной из гипотез.

В настоящее время часть биосферы - ноосферу - среду обитания человека, измененную его производственной деятельностью, называют техносферой и агросферой.

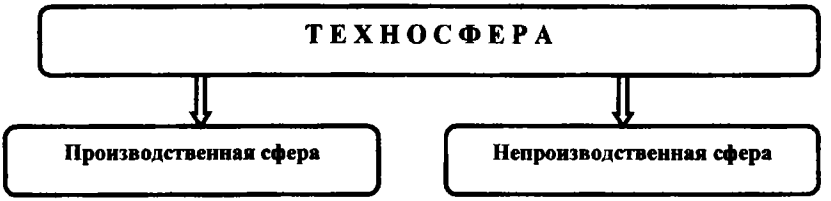

Рис. 1.2. Структура техносферы

Техносфера – часть биосферы, преобразованная человеком с помощью прямого или косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия его социально-экономическим потребностям. Она включает в себя предметы и сооружения, созданные человеком в процессе трудовой деятельности для изготовления средств производства, потребления и обслуживания непроизводственных потребностей общества (рис. 1.2.).

Агросфера – часть биосферы, созданная человеком с целью получения сельскохозяйственной продукции и регулярно поддерживаемая человеком. Это сообщество обладает низкой толерантностью, но высокой продуктивностью. В естественных биоценозах сложный растительный покров, включающий множество видов растений и животных, слагается исторически, а в агросфере он создаётся человеком и представлен обычно одним видом и сопутствующими сорными видами (рис. 1.3). В агросфере, как и в любом биоценозе,

комплексы организмов, входящих в его состав, характеризуются различными взаимоотношениями, в том числе трофическими.

1.3. Круговорот веществ и химических элементов в биосфере

Процессы фотосинтеза органического вещества из косных компонентов продолжаются сотни миллионов лет. Но поскольку Земля - некоторое конечное физическое тело, то любые химические элементы (в чистом виде или в виде соединений) также физически конечны. За миллионы лет их ассимиляции фотосинтетиками они должны, казалось бы, оказаться исчерпанными, полностью связанными в мертвой органике, превратиться в косную материю. Однако этого не происходит. Более того, человек постоянно стремится к интенсификации этого процесса, повышая продуктивность создаваемых им экологических систем.

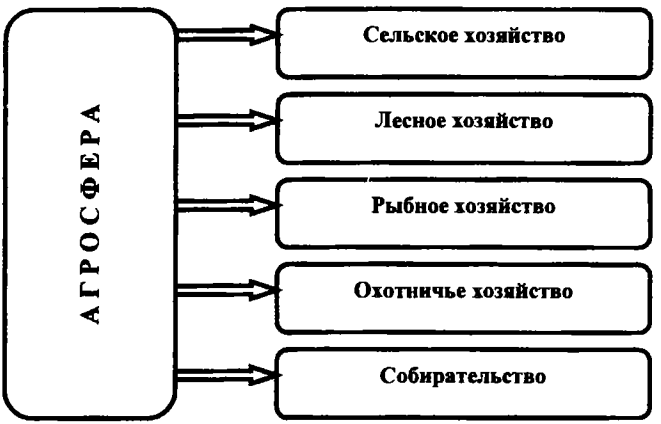

Рис. 1.3. Структура агросферы

В. Р. Вильямс писал, что единственный способ придать чему-то конечному свойства бесконечного - это заставить конечное вращаться по замкнутой кривой, т. е. вовлечь его в круговорот.

Круговорот веществ - это многократное участие веществ в процессах, протекающих в атмосфере, гидросфере, литосфере, в том числе в тех их слоях, которые входят в биосферу планеты. Однако в действительности полный круговорот совершают не вещества, а химические элементы, поэтому более точным будет термин «круговорот химических элементов». Для того чтобы биосфера продолжала существовать, чтобы на Земле не прекращалось развитие жизни, постоянно должны происходить непрерывные химические превращения ее живого вещества. Иными словами, после использования одними организмами вещества должны переходить в усвояемую для других организмов форму. Если не учитывать поступающее в биосферу космическое вещество в виде метеоритов и пыли (масса его ничтожна по сравнению с вещест-

вом биосферы), то можно утверждать, что количество вещества, вовлекаемого в биосферные процессы, остается постоянным в течение целых геологических периодов. Выделяют два основных круговорота: большой (геологический) и малый (биотический).

Большой круговорот длится сотни тысяч или миллионы лет. Он заключается в том, что горные породы подвергаются разрушению, выветриванию, а продукты выветривания, в том числе растворимые в воде питательные вещества, частично потребляются живыми организмами, а частично сносятся потоками воды в Мировой океан. Здесь они образуют морские напластования. В результате геологических изменений Земли часть вещества биосферы может надолго исключаться из этого круговорота. Такие биогенные осадки, как известняки, каменный уголь, нефть, на многие тысячелетия консервируются в толще земной коры, но, в принципе, не исключено их повторное включение в биосферный круговорот. Крупные медленные геотектонические изменения, процессы опускания материков и поднятия морского дна, перемещения морей и океанов в течение длительного времени приводят к тому, что эти напластования возвращаются на сушу, и процесс начинается вновь.

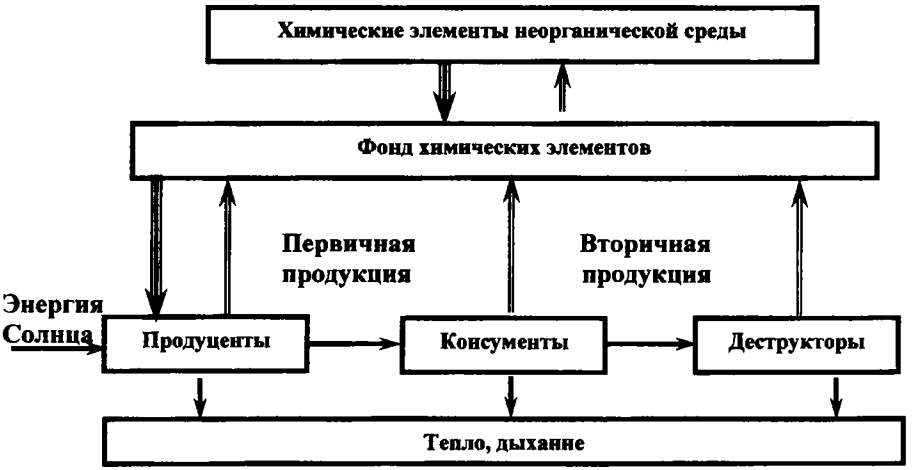

Рис. 1.4. Биогеохимический круговорот химических элементов и поток энергии в биогеоценозе

Малый круговорот, являясь частью большого, происходит на уровне биогеоценоза и заключается в том, что питательные вещества почвы, вода, углерод аккумулируются в веществе растений, расходуются на построение тела и жизненные процессы как их самих, так и потребляющих их организмов (рис.1.4). Продукты распада органического вещества почвенной микрофлоры и мезофауны (бактерии, грибы, черви, моллюски, насекомые, простейшие и др.) вновь разлагаются до минеральных компонентов, опять-таки доступных растениям и вновь вовлекаемых ими в поток вещества.

Круговорот химических веществ из неорганической среды через растительные и животные организмы обратно в неорганическую среду с использованием солнечной энергии химических реакций носит название биогеохимичсского цикла. Впервые наиболее полно сформулировал основные принципы биогенной миграции атомов на земной поверхности и в биосфере в целом В. И. Вернадский.

Важным показателем интенсивности биологического круговорота является скорость обращения химических элементов. Она может быть оценена по скорости накопления и разложения мертвого органического вещества, образующегося в результате ежегодного опада растений и отмирания животных организмов. Отношение массы мертвого растительного вещества (лесной подстилки, степной ветоши и т.п.) к массе ежегодного опада отражает интенсивность процесса деструкции. Чем выше этот индекс, тем меньше интенсивность биологического круговорота в данной экосистеме. Величины этого индекса наивысшие в заболоченных лесах (более 50), т. е. во столько раз масса не успевающих разложиться остатков больше массы ежегодного опада. В степях, где индекс близок к 1 - 1,5, субтропических лесах, где он еще меньше (около 0,7), и в саваннах, где он не более 0,2, разложение ежегодно отмирающего и поступающего в опад органического вещества происходит весьма активно и биологический круговорот оценивается как интенсивный. Во влажных тропических лесах растительные остатки почти не накапливаются. Здесь распад идет так быстро, что почвы практически лишены гумуса, в связи с чем субстрат практически не содержит запаса питательных веществ. Этот феномен объясняется тем, что почти все доступные питательные вещества биогеоценоза содержатся в фитомассе живых растений. Несмотря на то что часть этой фитомассы ежегодно отмирает и быстро минерализуется, высвобождающиеся вещества сразу же воспринимаются корнями растений и снова включаются в состав растительности. При этом установлено, что избыточная вода обильных осадков, оттекающая из такого биоценоза, почти лишена минеральных веществ, так как даже сильные дожди ничего не выщелачивают из почвы; иначе это неизбежно привело бы к обеднению ионного фонда такого биоценоза.

Отсюда становится понятным факт - уничтожение древесной растительности (особенно влажных тропических лесов) приводит к быстрой потере большей части запаса биогенных питательных веществ. Почвы умеренных климатических зон значительно богаче гумусом. Поскольку в степных почвах находится большая часть живой фитомассы, а при вспашке надземная фитомасса попадает в почву, при окультуриванни таких фитоценозов практически не происходит потери питательных веществ.

Биологический круговорот, включая в свои многочисленные циклы неживую природу, обеспечивает воспроизводство биомассы, оказывает активное влияние на облик и состояние биосферы. От интенсивности этого круговорота зависит количество и разнообразие живых организмов на Земле и соответственно объем накапливаемой органической продукции.

1.4. Эволюция биосферы

Закономерности эволюции биосферы обусловлены тремя категориями факторов: своеобразием отношения биосферы к среде, взаимодействием живого и неживого в пределах биосферы, особенностями взаимных отношений между организмами.

1. Среда биосферы, включающая космические, геологические и геохимические факторы, определяет саму возможность существования жизни. При ее существенных изменениях биосфера вынуждена к ним приспосабливаться, реагируя вымиранием групп организмов, не способных к приспособлению, и ускорением развития более выносливых. Сохраняются, как правило, одноклеточные и сравнительно мало специализированные многоклеточные. Происходит то, что известный американский палеонтолог Э. Коп назвал в конце прошлого века переживанием неспециализированного. Таким образом, во время критических изменений в среде биосферы живое бывает вынуждено как бы отступать в ходе прогрессивной эволюции. В качестве одного из примеров подобных отступлений можно указать на вымирание высокоспециализированных рептилий в меловом периоде, уступивших место сравнительно примитивным видам млекопитающих.

2. Взаимодействие живого и неживого в пределах биосферы включает контуры обратных связей, и потому по мере развития жизни биосфера начинает выступать в качестве саморегулирующейся системы. Способность к саморегуляции обеспечивает относительную устойчивость биосферы в целом, равно как и ее отдельных компонентов - биогеоценозов. Эта устойчивость обязана точному воспроизведению всех элементов биосферы на всех ее уровнях. Точность воспроизведения, в свою очередь, зависит от особенностей воспроизведения живого.

3. Живая составляющая биосферы подчиняется биологическим факторам, среди которых особое значение имеют наследственность, изменчивость, особенности формирования фенотипа, борьба за существование и естественный отбор.

Проблема направленности эволюционного процесса давно привлекала внимание исследователей. Представление об эволюции биосферы позволяет подойти к ней с новой точки зрения.

Будучи одним из аспектов развития материи, эволюция биосферы не может не подчиняться некоторым фундаментальным закономерностям, свойственным всей материи и в первую очередь закону неравномерности развития. Во Вселенной это проявляется в многообразии галактик, звезд, планетных систем, планет, в закономерностях синтеза химических элементов в биосфере - в многообразии живых существ; наряду с высшими формами жизни существуют, как необходимый элемент биосферы, простейшие одноклеточные организмы.

Ретроспективно можно выделить отдельные линии развития, скажем линию от амебы до слона. При таком подходе начинает казаться, что в исходной амебе уже содержались все признаки слона, а вся эволюция пред-

ставляется как все большее выражение слоновости. То же самое, однако, можно сказать про филогенезы кита, мыши, ныне существующей амебы, которая также произошла от исходного амебообразного простейшего. Иначе говоря, направленность развития нельзя сводить к направлению развития отдельных филогенезов. Она обнаруживается в веере форм различного уровня сложности. Повышение неравномерности развития живого - таково основное направление эволюции биосферы.

Эволюция материи характеризуется возникновением все новых сгустков организации. То же имеет место и в биосфере. Многообразие форм жизни, относительная устойчивость биосферы как среды жизни отдельных видов создают предпосылки для морфофизиологического прогресса. Важный элемент последнего - совершенствование реакций поведения, связанных с прогрессивным развитием нервной системы. В. И. Вернадский придавал этому показателю большое значение, назвав его по имени автора, обратившего на него особое внимание, принципом цефализации (концентрация нервной системы в переднем отделе тела, приводящая к образованию головы (цефалюм) с головным мозгом) Д. Дана (1851 г.). В основе цефализации лежит не некая внутренняя тенденция развития, а вполне материальные факторы - взаимные отношения организмов в биосфере.

Эти же материальные факторы обусловливают другой важный аспект направления эволюции биосферы - повышение ее стабильности. В самом деле, сохранялись лишь те виды организмов и их комплексы, которые в ходе борьбы за существование смогли оставлять потомство вопреки внутренним перестройкам биосферы и изменчивости космических и геологических факторов.

Многообразие форм жизни, тесная зависимость видов организмов друг от друга и от абиотических факторов обусловили превращение биосферы в саморегулирующуюся систему, все в большей степени определяющую направление эволюционных преобразований отдельных видов, и вместе с тем, по-видимому, все в большей мере ограничивающую их эволюционные возможности.

К саморегуляции способна не только биосфера, но и ее живые компоненты, биоценозы, виды, особи. В последнем случае она обнаруживается в целесообразном реагировании на внешние факторы.

Способность к целесообразным реакциям, таким образом, не некое изначальное свойство живого, а неизбежный продукт деятельности вполне материальных факторов - в первую очередь борьбы за существование и естественного отбора.

1.5. Прогноз естественной и антропогенной эволюции биосферы

Эволюция биосферы происходит в результате взаимодействия внутрибиосферных процессов во внешней среде, включающих космические и геологические факторы.

В течение последних трех миллиардов лет солнечная система сделала не один оборот вокруг центра Галактики, проходя через различные ее облас-

ти. Жизнь, между тем, продолжала развиваться. Значит, ни один из сезонов галактического года не препятствует ее развитию. Нет оснований и в будущем ожидать каких-либо серьезных осложнений в функционировании биосферы при смене галактических сезонов.

Интенсивность солнечного излучения, по данным современной астрономии, по-видимому, сохранится на уровне, близком к современному, не один миллиард лет. Многолетние флуктуации солнечной активности, очевидно, не достигают критических величин.

Приливное трение будет замедлять скорость вращения Земли вокруг оси, что приведет к увеличению продолжительности суток. Однако это процесс медленный, и биосфера вполне сможет к нему приспособиться.

Продолжающийся дрейф материков изменит конфигурацию земной поверхности. Подобный процесс происходил и в прошлом; вряд ли в будущем он приведет к коренным нарушениям в биосфере, хотя, конечно, в какой-то мере отразится на внутрибиосферных процессах.

В связи со стабилизацией земной коры будет затухать вулканизм, что может повлиять на концентрацию атмосферной углекислоты. Многие исследователи приводят данные, свидетельствующие о прогрессирующем снижении концентрации двуокиси углерода в атмосфере в результате фотосинтеза начиная с мелового периода. Процесс особенно усилился в кайнозое. Уменьшение содержания углекислоты в атмосфере сопровождается понижением температуры поверхности Земли, что, наиболее вероятно, было главной причиной наступления ледниковых периодов в прошлом.

Дальнейшее снижение концентрации CO_2 неизбежно приведет к наступлению новых ледниковых периодов, знаменующих «начало перехода от устойчивого безледного климатического режима к еще более устойчивому режиму полного оледенения планеты. Длительность этого переходного периода, которым могло бы закончиться существование биосферы, очень невелика по сравнению с общей деятельностью существования жизни на нашей планете».

Таков один из наиболее обоснованных перспективных прогнозов результата естественной эволюции биосферы. Он далеко не оптимистичен.

Развитие биосферы на нашей планете обязано маловероятному сочетанию благоприятных факторов как в начале формирования жизни, так и в течение последующих 3 - 3,5 млрд. лет. Временами интенсивность отдельных факторов достигала критических значений. Большая сложность биосферы и способность к саморегуляции обеспечивали возможность выхода из кризисов путем внутренних перестроек. Однако, поскольку ее функционирование определяется деятельностью стихийных факторов (взаимные отношения организмов в борьбе за существование, взаимодействие биоты и абиотического компонента биосферы, влияние космических и геологических факторов), нет оснований рассчитывать, что биосфера и впредь будет развиваться только в направлении прогресса. Напротив, в ней, как и в любой частной саморазвивающейся системе, таится возможность самоуничтожения. Расчеты М. И. Будыко показывают, что такая возможность вполне реальна. Ведь жизнь на

Земле, в конце концов, лишь небольшой эпизод в развитии материи, лишь один из пиков эволюционного ландшафта.

Качественно новый этап в развитии биосферы начался в конце третичного периода в связи с появлением человека. Сначала деятельность людей мало отличалась от деятельности иных живых существ. Беря у биосферы средства к существованию, люди отдавали ей то, что могли использовать другие организмы. Универсальная способность микроорганизмов производить разрушение органического вещества обеспечивала включение последствий хозяйственной деятельности в биотический круговорот. Но уже добывание огня выделило наших предков из ряда других животных. Значение этого открытия заключалось не только в том, что с помощью огня человек защитил свое жилье от хищников, расселился в районы с более холодным климатом и пережил периоды оледенения. Научившись добывать и поддерживать огонь, люди приобрели способность к полной деструкции органических остатков, т. е. научились делать то, что до них делали лишь микроорганизмы. Целенаправленное использование огня началось уже в первобытном хозяйстве, в так называемой переложно-подсечной системе земледелия. При этом огонь выполнял две функции: расчистку участков от дикой растительности и минерализацию органических остатков. Умение с помощью огня минерализовать органические остатки, используя получаемое тепло для обогрева, позволило в дальнейшем, через много столетий, вовлечь в круговорот органические вещества, слабо используемые микроорганизмами (например, залежи горючих ископаемых), и развить промышленность и транспорт, а также нейтрализовать вредные отходы промышленного производства и быта. Впервые в истории жизни один вид организмов оказался способным не только что-то создавать, но и полностью разрушать созданное. Появились предпосылки к сознательному включению человеческой деятельности в биотический круговорот.

Развитие человеческого общества шло все ускоряющимися темпами. Ускорялись и темпы воздействия человека на биосферу. В настоящее время человечество переживает период научно-технической революции, сопровождающейся быстрой перестройкой природы в целом и ее живого покрова в особенности. Существенно сократилась площадь лесов, естественные сообщества организмов (биоценозы) уступают место искусственным, стираются с лица земли некогда процветавшие виды живых существ. Отходы промышленности, в частности радиоактивные осадки и канцерогенные углеводороды, загрязняют воду, воздух, почву. Перед человечеством вырисовывается угроза голода, самоотравления, разрушения биологической основы наследственности. Нехватка чистой пресной воды, загрязнение воздуха, эрозия почв сегодня стали, к сожалению, реальным фактом.

Появилось большое количество специальных монографий, статей, сборников, в которых детально рассматриваются теневые стороны научно-технической революции, то, что получило название экологического кризиса.

В предыдущем разделе рассматривался один из вероятных вариантов прогноза будущего биосферы: исчерпание запасов CO_2, ведущее к охлаждению поверхности планеты и, как следствие этого, - к глобальному ее оледе-

нению. Если этот прогноз и оправдается, то не ранее чем через многие тысячелетия.

Наступление экологического кризиса в результате производственной деятельности, напротив, перспектива ближайших десятилетий, поэтому эта проблема привлекает внимание не только ученых, но и широкой общественности. Естественно, возникает вопрос, в какой мере экологический кризис неотвратим и что нужно делать, чтобы избежать тех роковых последствий, которые с такой очевидностью вырисовываются при беспристрастном анализе современных отношений человека и биосферы?

Глава 2
Атмосфера

2.1.Общая характеристика атмосферы

Атмосфера Земли (от греч. atmos – воздух, пар и sphaira – слой, шар) – это газовая оболочка, окружающая Землю. Атмосферой принято считать ту область вокруг Земли, в которой газовая среда вращается вместе с Землей как единое целое (рис. 1.1). Ее вертикальная протяженность составляет более трех земных радиусов (средний радиус Земли равен 6371 км), а масса $5{,}27 \cdot 10^{15}$ т, т.е. менее одной миллионной массы Земли.

Считается, что современная атмосфера имеет вторичное происхождение и образовалась из газов, выделенных твердой оболочкой Земли после сформирования планеты. В течение геологической истории земли атмосфера претерпела значительную эволюцию под влиянием ряда факторов: улетучивания атмосферных газов в космическое пространство; выделения газов из земли в результате вулканической деятельности; расщепления молекул под влиянием солнечного ультрафиолетового излучения; химических реакций между компонентами атмосферы и породами земной коры; захвата межпланетной среды.

Развитие атмосферы было тесно связано с геологическими и геохимическими процессами, а также с деятельностью живых организмов. Атмосфера защищает поверхность Земли от разрушительного действия падающих метеоритов, большая часть которых сгорает при вхождении в плотные слои атмосферы. Будучи наружной оболочкой Земли, атмосфера предотвращает резкие колебания температуры поверхности планеты, уменьшает поступление к ней избыточных доз ультрафиолетовой радиации и космического излучения, является носителем газов, обеспечивающих важнейшие жизненные процессы у растений и животных. Кроме того, она является средой распространения микроорганизмов, пыльцы, семян, плодов, средой обитания многих насекомых, птиц, млекопитающих.

Воздух представляет собой газообразную среду с низкой плотностью, относительно высоким содержанием кислорода и малым количеством водяных паров. Это во многом определило особенности физиологии и поведения сухопутных живых существ. Наземно-воздушная среда была освоена организмами в ходе эволюции значительно позднее, чем водная.

Низкая плотность воздуха обусловливает его малую подъемную силу и незначительную опорность, в связи с чем наземные организмы имеют предельные размеры и массу. Самые крупные сухопутные животные значительно меньше, чем гиганты водной среды.

Компоненты атмосферы далеко неравномерно распределены в ней. Специалисты, изучающие атмосферу, выделяют в ней несколько зон, располагающихся на различных высотах от Земли (рис. 1.1).

Атмосфера делится на три основные части: нижнюю – тропосферу, среднюю – стратосферу и верхнюю – ионосферу.

Самый близкий к поверхности Земли слой называется *тропосферой.* В этом слое высотой 7-16 км в основном происходят все те явления, которые мы именуем погодой. Этот нижний, наиболее плотный слой атмосферы характеризуется снижением температуры по высоте с градиентом 6 градусов на 1 км (в отдельных слоях температура может повышаться с увеличением высоты; такое распределение ее называется инверсией температуры). Высота слоя тропосферы изменяется от 7 – 10 км над полярными широтами до 16-18 км над экваториальными. В тропосфере вследствие уменьшения плотности воздуха с увеличением высоты сосредоточено примерно 90 % массы воздуха, а также основное количество атмосферных примесей. Она содержит практически весь водяной пар, при конденсации которого образуется облачность, а непосредственно у Земли – туман. Выделяют облачность нижнюю (до высоты 1-2 км), среднюю (на высоте 2-4 км) и верхнюю (6-10 км). В тропосфере возникают такие опасные явления погоды, как грозы, шквалы, пыльные и песчаные бури, метели, туманы.

Выше располагается *стратосфера.* Температура в этом слое сначала остается постоянной, а затем начинает повышаться с высотой. В стратосфере сконцентрирована основная часть атмосферного озона. На высоте 20-30 км расположен слой с повышенной концентрацией озона (озонный слой - озоносфера), и именно это обстоятельство обусловливает такое повышение температуры. Дело в том, что озон поглощает ультрафиолетовые лучи Солнца, что и вызывает разогрев стратосферы. Стратосфера распространяется до высоты 50 км.

Следующий слой - *ионосфера* подразделяется на *мезосферу* (на высоте 50-80 км) и *термосферу* (80-800 км), имеет вертикальную протяженность в сотни километров; воздух в ней находится в ионизированном состоянии.

Для мезосферы характерно падение температуры с высотой, которая достигает минимума (-80^0, -90^0) на верхней границе, в связи с чем здесь отмечается повышение турбулентности. Для термосферы характерно повышение температуры с высотой, вызванное поглощением коротковолновой части лучистой энергии Солнца при распаде молекул кислорода и азота на атомы.

Экзосфера - внешний слой атмосферы, расположенный выше 800 км. Этот слой атмосферы называют также *сферой рассеяния,* так как в нем наблюдается диссипация (уход) газов из земной атмосферы.

Практически все компоненты атмосферы в одинаковых количествах содержатся в тропосфере, стратосфере и мезосфере. Однако атмосферное давление с высотой уменьшается; или, другими словами, воздух по мере роста высоты становится все разреженнее; 90% массы атмосферы сосредоточено в пределах 16 км над земной поверхностью.

2.2. Состав атмосферы

Воздух представляет собой физическую смесь газов различной химической природы, имеющих для живых организмов первостепенное значение. С экологической точки зрения воздух – это не только газовая обо-

лочка Земли, но и газовая компонента почвы, растворенные газы природных вод и тканевых жидкостей организмов. Воздух является материальной средой, с которой тесно связана жизнедеятельность практически всех живых организмов.

Как и другие экологические факторы, воздух воздействует физически и химически на земную кору, чем обусловливает важнейшие геологические процессы, протекающие на поверхности нашей планеты.

Состав воздуха, лишенного влаги и твердых примесей, практически одинаков во всех местностях земного шара. Современная атмосфера Земли по химическому составу относится к азотно-кислородному (азота 78,09 %, кислорода 20,95 %) типу и этим качественно отличается от газовых оболочек всех известных ныне небесных тел, включая планеты Солнечной системы. Так, атмосферы Юпитера и Сатурна состоят главным образом из водорода и гелия, Марса и Венеры – из углекислого газа. Воздух Земли представляет собой смесь газов (а не соединение), состав которой изменяется в зависимости от высоты, но в тропосфере остается относительно постоянным по сравнению с давлением (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Состав воздуха (основные компоненты), %

Высота, км	Кислород	Азот	Аргон	Гелий	Водород	Давление (мм рт.ст.)
0	20,94	78,09	0,93	-	0,01	760
5	20,94	77,89	0,94	-	0,01	450
10	20,99	78,02	0,94	-	0,01	168
20	18,10	81,24	0,59	-	0,04	41
100	0,11	2,97	-	0,56	96,31	0,0067

Ясно, что воздух по составу сложнее, чем показано в табл. 2.1. К перечисленным в таблице газам следует добавить такие, как неон, криптон, радон, углекислый газ, метан и другие постоянные и переменные компоненты (незначительные количества озона, ксенона, сернистого ангидрида, окиси углерода, аммиака). В воздухе есть также водяной пар, количество которого зависит от температуры, эфирные масла и другие выделения растений. Основная масса водяного пара сосредоточена в тропосфере, поскольку его концентрация быстро убывает с высотой. Среднее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в умеренных широтах составляет около 15-17 мм «слоя осажденной воды», т.е. такую толщину будет иметь слой сконденсированного водяного пара.

Своеобразие состава современной атмосферы Земли выражается в ничтожном содержании инертных газов (кроме аргона) и молекулярного водорода. Состав атмосферы сильно отличается от вулканических газов, за счет которых она возникла в далеком прошлом. Это свидетельствует о том, что в течение геологической истории Земли происходили мощные процессы, изменившие состав газовой оболочки. Эти процессы связывают с ак-

тивностью живого населения биосферы. И в самом деле, расчеты показывают, что в добиологический период атмосфера Земли мало отличалась от близкой к ней по размерам и расстоянию от Солнца Венеры.

Кислород. Для абсолютного большинства живых организмов кислород является жизненно необходимым. В бескислородной среде могут развиваться только анаэробные бактерии. Кислород обеспечивает осуществление экзотермических реакций, в ходе которых освобождается необходимая для жизнедеятельности организмов энергия. Этот элемент является конечным акцептором электрона, который отщепляется от атома водорода в процессе энергообмена. В химически связанном состоянии кислород входит в состав многих очень важных органических и минеральных соединений живых организмов. Огромна его роль как окислителя в круговороте отдельных элементов биосферы.

Единственными продуцентами свободного молекулярного кислорода на Земле являются зеленые автотрофные растения, которые образуют его в процессе фотосинтеза. Атмосфера содержит 1,2 – $2{,}0 \cdot 10^{15}$ т кислорода. Ежегодно запас пополняется на 7 - $10 \cdot 10^{10}$ т за счет фотосинтеза зеленых растений, при этом $5{,}5 \cdot 10^{10}$ т кислорода продуцируют леса

Еще одним источником кислорода являются водяные пары, которые в верхних слоях атмосферы под действием ультрафиолетового излучения Солнца разлагаются на кислород и водород. Не исключено, что часть атмосферного кислорода имеет вулканическое происхождение.

Значительное количество кислорода растворено в пресных водах водоемов, в снегах и льдах, соленой воде морей и океанов. Каждый четвертый атом живого вещества представлен кислородом.

Поглощение кислорода организмами из внешней среды происходит поверхностью тела (у простейших, червей) или специальными органами дыхания - трахеями (у насекомых), жабрами (у рыб), легкими (у позвоночных). Кислород химически связывается и переносится по организму специальными пигментами крови - гемоглобином (у позвоночных), гемоцианином (у моллюсков, ракообразных). У организмов, которые пребывают в условиях постоянного недостатка кислорода, возникли соответствующие приспособления: повышенная кислородная емкость крови, более частые и более глубокие дыхательные движения, большой объем легких (у обитателей высокогорья, птиц), повышенное количества миоглобина - аккумулятора кислорода в тканях (у обитателей водной среды).

Наличие 14 % кислорода в воздухе является критическим для многих млекопитающих. Нормальная жизнедеятельность и рост корней растений, прорастание семян осуществляются при условии, если не меньше 15-20 % пространства почвы занято воздухом, содержащим, в свою очередь, не менее 1-2 % кислорода. В природе происходит постоянный круговорот этого газа в результате сбалансированных процессов использования атмосферного кислорода для дыхания, окислительных процессов и выделения его в свободном виде зелеными растениями при фотосинтезе. По расчетам, круговорот кислорода осуществляется за 2000 лет.

Углекислый газ. Одной из важнейших преобладающих форм биогенного углерода в природе является углекислый газ (диоксид углерода). Это соединение обладает особыми свойствами, благодаря чему является циркулирующей формой углерода.

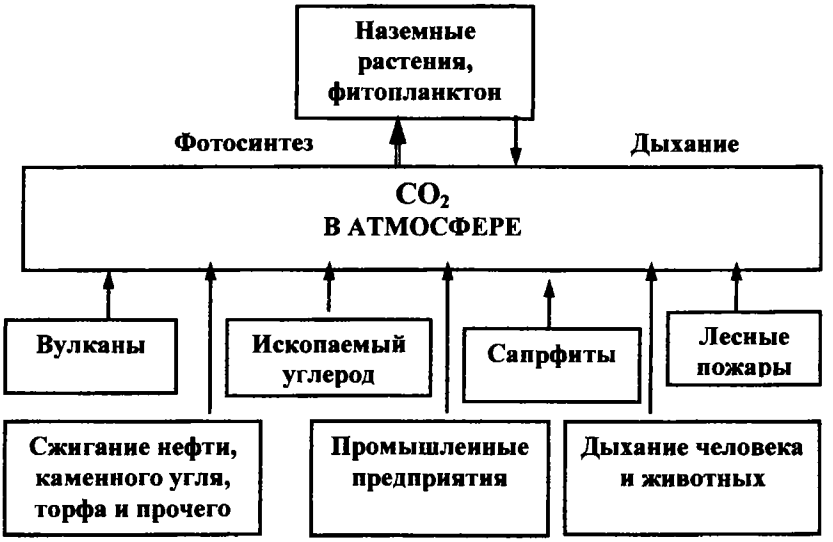

Рис. 2.1. Круговорот углерода в природе

Нормальное количество этого газа в воздухе невелико - 0,032 % (по объему). Вследствие этого даже небольшие колебания в содержании углекислого газа существенно отражаются на зависящем от него процессе фотосинтеза. Главные источники поступления в атмосферу углекислого газа - дыхание животных и растений, горение, извержения вулканов, деятельность почвенных микроорганизмов и грибов, промышленные предприятия, транспорт (рис. 2.1). Количество углекислого газа изменяется по сезонам (летом и в начале осени его содержание уменьшается из-за активной ассимиляции фототрофными организмами, особенно в Северном полушарии, где преобладает суша), в течение суток (в светлое время над фитоценозом содержание углекислого газа уменьшается в среднем на 10 %). В атмосфере Земли содержится в среднем не менее $2 \cdot 10^{12}$ т углекислого газа.

В древесной массе фитоценозов Земли запасено 500 млрд. т связанного углерода, что составляет 75% всего атмосферного фонда углекислого газа. С начала прошлого века содержание углекислого газа в тропосфере возросло незначительно:с 0,029% до 0,032 %.

Углекислый газ, который поглощает световой поток в инфракрасной области спектра, влияет на оптические параметры и температурный режим

атмосферы, следствием чего является известный «парниковый эффект». Он состоит в том, что, подобно стеклу в парниках, безоблачная атмосфера, содержащая углекислый газ, сравнительно мало задерживает солнечную радиацию видимого диапазона, однако в значительно большей степени поглощает длинноволновое инфракрасное излучение, возникающее при разогреве поверхности Земли. Тем самым создаются условия для сохранения тепла в атмосфере (рис. 2.2). Таким образом, происходит разогрев атмосферы и отражение части энергии обратно к Земле. По мере увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере температура всей системы может повышаться. Название «парниковый эффект» не совсем правильное. В действительности в парниках и теплицах большую роль в сохранении тепла играют изоляция от окружающего воздуха и повышенное содержание водяных паров. Тепловой эффект сохраняется, например, при замене стекла на полиэтилен, который поглощает коротковолновую и длинноволновую радиацию примерно одинаково. Тем не менее название «парниковый эффект» для атмосферы стало общепринятым.

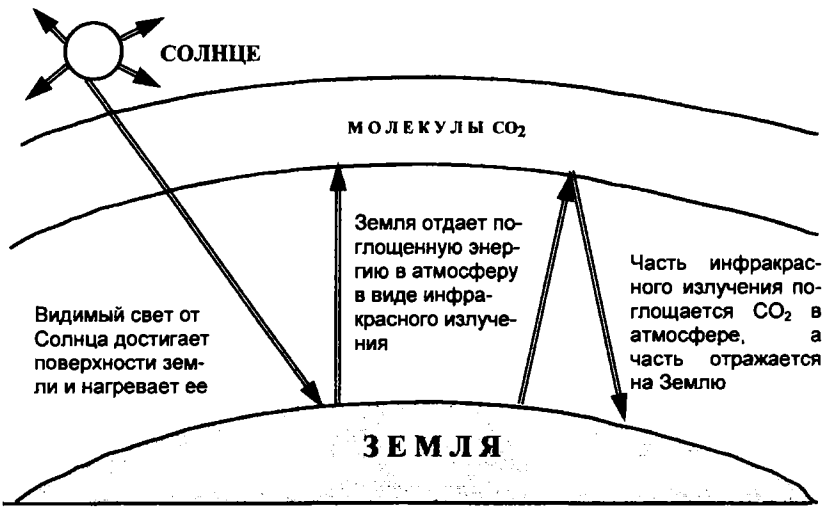

Рис. 2.2. «Парниковый эффект», обусловленный накоплением углекислого газа в атмосфере

Углекислый газ поступает в атмосферу не только вследствие естественных процессов (извержение вулканов, деятельность почвенных микроорганизмов, дыхание), но и в результате сжигания горючих полезных ископаемых (теплоэнергетика, транспорт, индустрия), как побочный продукт химической промышленности и т. п.

Полный обмен углекислого газа в атмосфере происходит за 300-500 лет. При этом необходимо учитывать, что кислород, углекислый газ и азот,

растворяясь в воде, находятся в ней в ином количественном соотношении, чем в воздухе. В связи с этим гидросфера оказывает огромное влияние на баланс основных газов в атмосфере. Из-за высокой растворимости кислорода и углекислого газа их содержание здесь выше, чем в воздухе (в 2-3 раза). Это важно для гидробионтов, использующих либо растворенный кислород для дыхания, либо углекислый газ для фотосинтеза.

Важным экологическим аспектом является повышение растворимости этих газов в воде по мере уменьшения температуры. Именно поэтому фауна водных бассейнов полярных и приполярных широт очень разнообразна, главным образом вследствие повышенной концентрации кислорода в холодной воде. Растворимость кислорода (как и любого другого газа) в воде подчиняется закону Генри: она обратно пропорциональна температуре и прекращается по достижении точки кипения. В теплых водах тропических бассейнов пониженная концентрация растворенного кислорода ограничивает дыхание и, таким образом влияет на жизнедеятельность (и соответственно численность) водных животных.

В океане углекислого газа почти в 60 раз больше, чем в атмосфере. Вследствие того что этот газ лучше растворяется в холодной воде, Мировой океан действует как гигантский насос, который, поглощая углекислый газ в холодных областях, переносит и отдает его в атмосферу тропиков.

Углекислый газ не относится к разряду лимитирующих факторов для водных организмов вследствие связывания его избытка щелочными и щелочноземельными ионами, образующими карбонатно-гидрокарбонатную систему. Огромная буферная емкость этой системы в сочетании с громадной площадью акваторий поддерживает динамическое равновесие углекислого газа в воздухе и воде. Использование и изъятие водными организмами значительных количеств углекислого газа в виде гидрокарбонатов для построения своих внешних и частично внутренних скелетов (панцирей, раковин) с последующим превращением их в известняки и другие осадочные породы компенсируется новым поступлением его из атмосферы, а также в результате дыхания водных организмов, растворения осадочных пород дна и берегов и поступления с материковым стоком.

В поверхностных слоях океана в процессе фотосинтеза растений происходит поглощение углекислого газа. Эта потеря компенсируется поступлением его из атмосферы и растворением в воде. На больших глубинах, где фотосинтез из-за недостатка света прекращается, идет образование и ускоренное накопление этого газа за счет разложения органического вещества. В верхнем 500-метровом слое океана окисляется в среднем до 87 % первичной продукции. В донные осадки попадает всего 0,1 % органического вещества.

Азот. Азот в атмосфере составляет 78 % по объему. Для большинства организмов, особенно животных, он является нейтральным газом. Лишь для значительной группы микроорганизмов (клубеньковых бактерий, азотобактеров, актиномицетов, синезеленых водорослей) азот является фактором жизнедеятельности. Усваивая атмосферный азот, они после отмирания

и минерализации обеспечивают корни высших растений доступными формами азота.

Во всей биосфере в результате процессов биологической фиксации за год образуется 92 млн. т связанного азота, в то время как потери его вследствие денитрификации составляют 83 млн. т. Прибыль азота равна примерно 9 млн. т в год. Это количество азота, которое задерживается в почве, реках, озерах, прудах и океанах. На рис. 2.3 показаны основные процессы круговорота азота. Слева - процессы фиксации, справа - процессы денитрификации. Следует отметить, что основная часть цикла азота осуществляется в почве.

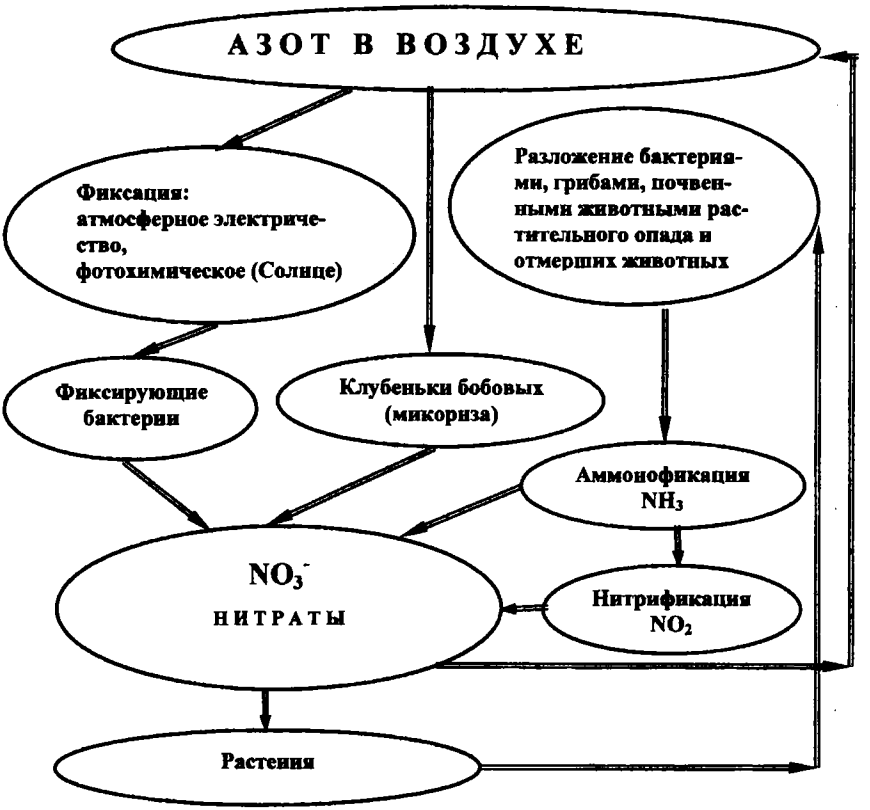

Рис. 2.3. Круговорот азота

В симбиотических системах азот становится доступным растению-хозяину в виде аммиака, который образуется в процессе жизнедеятельности клубеньковых бактерий рода Rhisobium, обитающих на корнях бобо-

вых растений, а также некоторых видов грибов - актиномицетов, симбиотически связанных с корнями ряда видов растений.

Мобилизованный с помощью этих микроорганизмов азот включается в азотосодержащие вещества растений (аминокислоты, белки, нуклеотиды, пигменты и др.). Впоследствии биомасса этих растений либо потребляется травоядными животными непосредственно, либо переходит к редуцентам с продуктами экскреции животных или с их остатками. Образование вновь доступных растениям аммиачных форм азота происходит в результате аммонификации; при этом микроорганизмы почвы разлагают азотосодержащие органические остатки до конечных продуктов, в том числе аммиака, который в почве немедленно соединяется с всегда присутствующими в ней ионами угольной или органических кислот, в результате чего образуются аммонийные соли. Растворяясь в почвенных водах, аммонийные соли могут снова поглощаться растениями либо в чистом виде, либо после процесса нитрификации. Этот процесс состоит в том, что в ходе последовательных окислительных реакций, осуществляемых бактериями-нитрификаторами, образуется нитратная форма азота, поглощаемая корнями растений.

В природе происходит и процесс, обратный нитрификации, - денитрификация, которая тоже осуществляется бактериями. В анаэробных условиях они используют окислы азота, которые выступают как акцепторы электронов. Деятельность денитрифицирующих бактерий, восстанавливающих ион NO_3^- до N_2, имеет важное экологическое значение, поскольку почва теряет доступные соединения азота и он возвращается в молекулярной форме в атмосферу.

Азот растворяется в крови и тканевых жидкостях организмов в количествах, пропорциональных его парциальному давлению. При резком уменьшении давления избыток азота выделяется в виде пузырьков газа. Проявление этого – кессонная болезнь у водолазов. Постоянно мигрирующие в вертикальном направлении организмы (птицы, рыбы, ластоногие, китообразные) имеют защитные механизмы, уменьшающие процесс дегазации крови и других жидкостей.

Аргон, неон, гелий и другие газы атмосферы в экологическом плане считаются индифферентными (экологически нейтральными).

Озон. Одним из важнейших компонентов атмосферы в экологическом плане является озон, несмотря на его крайне низкое содержание. Это связано с тем, что озон активно поглощает коротковолновое УФ-излучение Солнца и таким образом определяет не только температурный режим стратосферы, но и является охранным щитом от жесткого, короче 280 нм, УФ-излучения, крайне опасного для всего живого на Земле.

Основное количество озона сосредоточено в стратосфере на высотах 15-25 км (верхняя граница его распространения – до 45 км), где он образует озонный слой, или озоносферу. У поверхности Земли он проявляется только во время грозовых разрядов. Содержание этого газа в атмосфере составляет $6 \cdot 10^5$ % (по массе), его общее количество в атмосфере составля-

ет $3.3 \cdot 10^9$ т. Среднее время жизни молекул озона в атмосфере – около 50 суток. Начало образования озона в верхней стратосфере связано с реакцией фотодиссоциации молекулярного кислорода коротковолновым УФ-излучением Солнца:

$$O_2 + h\gamma \rightarrow O + O.$$

Взаимодействие атомов кислорода (в присутствии третьего тела М) с его же молекулами ведет к образованию озона:

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M.$$

В последние десятилетия установлено существенное влияние на озонный слой различных веществ естественного и особенно антропогенного происхождения, приводящих к разрушению озонного экрана. Это вулканические извержения, содержащие хлор; разложение минеральных удобрений, выделяющих закись азота; выбросы реактивных двигателей высотной авиации окислов азота и паров воды; ядерные взрывы, при которых образуется большое количество оксидов азота, и т.п.

Актуальным становится вопрос о разрушающем влиянии на озонный слой хлорфторуглеродов (фреонов), которые широко используются в быту (газовое наполнение аэрозольных баллончиков, хладагенты холодильников) и 95 % которых рано или поздно попадает в воздушную среду и далее – в стратосферу. Там из фреонов под действием УФ-излучения выделяется хлор, ведущий к разрушению стратосферного озона.

Самым заметным и экологически значимым эффектом антропогенного воздействия на озоносферу может быть увеличение потока средневолнового (240-320 нм) УФ-излучения, приходящего к земной поверхности. Именно этот диапазон обладает опасным биологическим действием. Экспериментально установлено отрицательное влияние повышенных доз УФ-излучения этого диапазона на продуктивность злаковых культур (пшеницы, риса, ячменя), а также сои, картофеля. Возникновение злокачественных меланом у человека объясняют этой же причиной. Даже существующие уровни УФ-излучения подавляют продуктивность фитопланктона, неблагоприятно влияют на икру, личинки, молодь рыб.

Аэрозоли. В состав атмосферы входят различные примеси, качественные и количественные показатели которых очень изменчивы и непредсказуемы.

Аэрозоли – твердые (дым) или жидкие (туман) частицы в атмосфере, обладающие малыми скоростями осаждения. Они различаются по размеру, составу и другим характеристикам, определяющим их физические и химические свойства, а также по степени взаимодействия с окружающей средой. Размеры аэрозолей варьируют от тысячных до сотен микрон. Эквивалентный диаметр твердых частиц аэрозоля $10^{-9} - 10^{-3}$ мм, капель $10^{-6} - 10^{-2}$ мм.

В атмосферу аэрозоли попадают в большом количестве как из естественных источников, так и в результате антропогенного воздействия. Соединения ряда газов, в том числе сернистого ангидрида, диоксида серы и оксидов азота, в результате реакций с кислородом, водяным паром и дру-

гими образуют вещества, которые переходят в твердое или жидкое состояние, поэтому аэрозоли разделяют на первичные, поступающие непосредственно в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом их превращений.

Распределение аэрозолей в атмосфере неоднородно: максимальное содержание обычно наблюдается в районах источников, а за их пределами – только фоновое содержание. Вертикальное распределение аэрозолей зависит от дисперсности, которая существенно определяет и время жизни аэрозолей в атмосфере, т.е. продолжительность нахождения их в воздухе до выпадения на землю. Более крупные частицы сосредотачиваются в слое воздуха толщиной до 1 км, время жизни их здесь не более 2-3 суток. Выше, в слое до 10 км, содержатся мелкие частицы со временем жизни 5-30 суток; концентрации их быстро уменьшаются с увеличением высоты. Однако в стратосфере на высоте 20-30 км иногда обнаруживаются вторичные максимумы концентрации аэрозолей, образующиеся здесь под влиянием фотохимических реакций.

2.3. Радиационный режим атмосферы

2.3.1. Солнечная радиация

Солнечная радиация - это электромагнитная радиация Солнца, распространяющаяся в пространстве в виде электромагнитных волн со скоростью 300 000 км/с и проникающая в земную атмосферу. До земной поверхности она доходит в виде прямой и рассеянной радиации. Солнечная радиация является основным источником энергии атмосферных процессов.

Общие характеристики Солнечного излучения, воздействующего на организмы, основные особенности его распространения по областям спектра, а также его главенствующую роль в энергетике экосистем мы рассмотрели в первой части пособия [4].

Активность солнечной энергии весьма изменчива, однако многочисленными наблюдениями показано наличие цикличности солнечной активности с периодом около 11 лет. В период максимальной солнечной активности, а также в наиболее активных областях Солнца происходят глубокие изменения в его энергетике. Возрастает количество протуберанцев, усиливающих УФ, рентгеновское и корпускулярное излучение, увеличивается ионизация атмосферы Земли. Это приводит к возникновению различных процессов в верхних слоях атмосферы (полярных сияний, диссоциации молекул газов и т. п.). Солнечная активность оказывает также существенное влияние и на процессы, происходящие в нижних слоях атмосферы – тропосфере.

Солнечная радиация, поступающая в верхнюю границу атмосферы Земли, прежде чем дойти до земной поверхности, претерпевает существенные изменения в результате рассеяния молекулами воздуха и содержащимися в атмосфере твердыми и жидкими примесями; частично солнечная радиация поглощается.

2.3.2. Ионизирующее излучение. Радиоактивность атмосферы

Радиоактивность и связанные с ней ионизирующие излучения всегда существовали в космическом пространстве, на Земле и других планетах. Радиация заполняет всю Вселенную, и радиоактивные вещества вошли в состав Земли с самого ее зарождения. Они находятся в горных породах, воде, растениях и животных.

Действие ионизирующей радиации на живой организм интересовало мировую науку с самого начала открытия радиоактивного излучения, с первых шагов применения радиоактивных нуклидов. Это неслучайно, так как с самого момента открытия этого явления и до настоящего времени, исследователи столкнулись с его отрицательными эффектами. А. Беккерель, открывший явление радиоактивности, и М. Кюри-Склодовская, изучавшая свойства радиоактивных элементов, получили сильнейшие ожоги кожи от излучения радия.

Разные виды излучений обладают разной проникающей способностью, поэтому они оказывают неодинаковое воздействие на ткани живого организма. В частности, альфа-излучение, представляющее собой поток относительно тяжелых частиц (ядер атомов гелия), задерживается даже листком бумаги. Испускаемые радием-226 альфа-частицы имеют свободный пробег в воздухе около 5 см. Альфа-излучение не может проникнуть внутрь организма через кожный покров, поэтому практически не представляет опасности для человека до тех пор, пока сам изотоп, испускающий альфа-лучи, не попадет внутрь организма с пищей или вдыхаемым воздухом; тогда они становятся чрезвычайно опасными. Альфа-частицы, ввиду своей большой массы, наносят весьма сильное поверхностное поражение биологическим объектам.

Бета-излучение, представляющее собой поток электронов, обладает значительно большей проникающей способностью, чем альфа - излучение. Электроны, испускаемые радионуклидами, могут проходить в воздухе расстояние до 10 метров и проникать в ткани организма на глубину один - два сантиметра. Однако они легко задерживаются тонким слоем металла. Наибольшее поражение бета-излучение наносит при попадании радионуклида внутрь организма.

Проникающая способность гамма - квантов, которые представляют собой жесткое электромагнитное излучение и распространяются со скоростью света, существенно больше. Полностью остановить гамма-излучение может лишь толстая бетонная или свинцовая плита. Гамма-излучение является основным поражающим фактором для организма при воздействии на него излучения от внешних источников.

Некоторые другие типы излучения также представляют интерес для эколога. Нейтроны – это тяжелые незаряженные элементарные частицы, которые сами по себе не вызывают ионизации, но в результате столкнове-

ния с ядрами водорода (протонами), который присутствует в любом «живом веществе», образуют протоны отдачи, вызывающие сильную ионизацию и разрывы химических связей в этом веществе. Кроме того, захват нейтрона большинством ядер стабильных изотопов приводит к образованию радиоактивных изотопов, вызывающих «наведенную» радиоактивность. При равном количестве поглощенной энергии «быстрые нейтроны» вызывают в 10, а «медленные» – в 5 раз большие повреждения, чем гамма-излучение. Нейтронное излучение обнаруживается вблизи реакторов и в местах ядерных взрывов, оно играет основную роль при делении ядер тяжелых радионуклидов.

Атомы одного химического элемента, ядра которого содержат разное число нейтронов, называются изотопами. Некоторые изотопы радиоактивны, другие – нет. Например, существует несколько изотопов кислорода, углерода. Радиоактивные изотопы нестабильны и при распаде превращаются в другие изотопы, излучая при этом большое количество энергии. Каждый радиоактивный изотоп характеризуется атомной массой и скоростью распада. Эту скорость приято оценивать периодом полураспада - величиной, постоянной для данного изотопа (внешние факторы не влияют на скорость распада). Период полураспада радиоактивных изотопов разных химических элементов изменяется от нескольких долей секунд до миллиардов лет. Радиоактивные изотопы, за исключением крайне «короткоживущих», представляют значительный интерес с точки зрения экологии. Проникающая сила излучения тем больше, чем выше его энергия.

Рентгеновское излучение представляет собой электромагнитное излучение, очень близкое к гамма-излучению, его эффект связан с выбиванием электронов из внешних электронных оболочек, кроме того, оно не образуется радиоактивными веществами, рассеянными в окружающей среде. Поскольку действие рентгеновского и гамма-излучений близки и поскольку рентгеновское излучение легко получить на специальной установке, его удобно применять при экспериментальном изучении отдельных особей, популяций и даже небольших экосистем.

Космическое излучение – это излучение, приходящее к нам из космического пространства и состоящее из корпускулярной и электромагнитной компонент. Интенсивность космического излучения в биосфере мала, однако оно представляет собой основную опасность при космическом полете. Космическое и ионизирующие излучения, испускаемые радиоактивными природными веществами, содержащимися в воздухе, воде и в почве, образуют так называемое фоновое излучение, к которому в той или иной степени адаптированы ныне существующие живые организмы. В разных частях биосферы естественный фон различается в три-четыре раза. Наименьшая его интенсивность наблюдается около поверхности моря и в поверхностных слоях почвы, а наибольшая – на больших высотах в горах, образованных гранитными породами. Интенсивность космического излучения увеличивается с увеличением высоты над уровнем моря, а гранитные скалы содержат больше радионуклидов, чем осадочные породы.

2.4. Перемещения воздушных масс и атмосферное давление

В нижних слоях атмосферы постоянно происходят вертикальные и горизонтальные перемещения воздушных масс различной силы и направления. Такие воздушные потоки формируются обычно температурными градиентами и неравномерным распределением атмосферного давления и направлены из областей высокого давления к областям низкого. Эти перемещения воздушных масс относительно поверхности Земли носят название - *ветер*.

Движения воздуха зависят от многих факторов, главный – неравномерность нагрева атмосферы в разных районах земного шара. Это способствует развитию системы воздушных крупномасштабных течений - так называемой общей циркуляции атмосферы, которая создает горизонтальный перенос тепла, в результате чего амплитуда температур атмосферного воздуха в различных районах земного шара сглаживается. Конвективные потоки – упорядоченный перенос воздуха на общем фоне турбулентных движений (турбулентная диффузия) - неупорядоченное перемещение воздуха. Возникают конвективные потоки вследствие перегрева или неравномерного нагрева поверхности Земли. В развитии местных метеорологических процессов, в распространении атмосферных примесей от их источников существенную роль играют локальные конвективные потоки.

В пределах тропосферы действует особый тип теплового баланса. Особенно большие контрасты температуры у поверхности Земли существуют между экватором и полюсами. Они вызваны различными поступлениями солнечной энергии на разных широтах. На распределение температуры влияет также расположение континентов и океанов. В тропических широтах Земля получает тепла больше, чем теряет, а в полярных - наоборот.

Горизонтальные и вертикальные перемещения больших воздушных масс играют ведущую роль в формировании погоды и климата. Непосредственной причиной возникновения ветра является неравномерное распределение атмосферного давления по горизонтали. Перепады давления обусловлены неравномерным нагревом атмосферы Солнцем. Теплый экваториальный воздух легче, чем холодный плотный воздух полярных стран. Как только создается разность атмосферного давления, частицы воздуха начинают перемещаться в горизонтальном направлении с ускорением из области более высокого в область низкого давления.

Сила движения воздуха (ветра) из областей высокого давления (барического максимума) в область низкого давления (барического минимума) зависит от градиента давления, т. е. от скорости уменьшения давления в данном направлении (барического градиента – величины падения давления на единицу расстояния), а значит, она пропорциональна разности давления.

С экологической точки зрения наибольший интерес представляет перемещение воздушных масс вдоль поверхности Земли. Наряду с этим об-

щая циркуляция воздушных масс осуществляет влагооборот в атмосфере, в ходе которого водяной пар переносится с океанов на сушу и происходит увлажнение континентов. Массы воздуха, перемещающиеся от водных пространств, насыщенных водяными парами, и способствуют увеличению количества осадков. А воздух из глубины континентов несет мало влаги и много тепла. При этом выравниваются концентрации компонентов воздуха, температура и барометрическое давление над сопредельными территориями, усиливается газообмен между почвами и атмосферой. Ветер ускоряет испарение воды в местах ее избытка и переносит влагу в зоны ее недостатка, что, в свою очередь, изменяет водный и световой режимы данного района.

Ветер оказывает лимитирующее воздействие на активность и на распределение организмов. Он создает возможность пассивного полета ряда организмов, что характерно для спор, пыльцы, семян, плодов растений, цист простейших, мелких насекомых, пауков и т. п. Расселение с помощью воздушных потоков получило название анемохории. Пассивно переносимые потоками воздуха организмы называются аэропланктоном. Специальными приспособлениями для такого полета являются многочисленные выросты, волоски, хохолки, крыловидные пленки, паутина и т.п. Влияние ветра на живые организмы разнообразно. Проявление прямого воздействия - обламывание ветвей и сучьев у растений, буреломы (поломки стволов), ветровалы (выворачивание деревьев из почвы), усиление транспирации.

Направленная сила ветра и его регулярность во многом определяют облик растений (особенно открытых мест – флагообразная форма кроны, отмирание ветвей с наветренной стороны, упрочнение корневой системы и т.п.). Огромна роль ветра в опылении растений, распространении плодов и семян.

Косвенное влияние ветра состоит в том, что при определенной скорости воздушной массы может происходить выдувание почвы, ее эрозия. Это приводит к обнажению корневых систем, перемещению верхнего слоя почвы пыльными бурями по воздуху в другие районы, образованию пыльных сугробов, ухудшению жизнедеятельности засыпанных растений.

Экологически значимым является обратное влияние растений на ветер, благодаря чему существенно снижается его скорость. Наиболее эффективно препятствует движению воздуха лес - самое мало продуваемое сообщество. Это свойство лесных насаждений с давних пор используется для защиты полей и других сельскохозяйственных угодий от вредного воздействия ветра. Делается это с помощью защитных лесных полос, живых изгородей. Чередование посевов низкорослых и высокорослых культур (кулисные растения) предохраняет смежную культуру от ветра и способствует снегозадержанию. Велико значение ветра для жизнедеятельности животных. Сильный ветер ограничивает активность многих насекомых и птиц. Ветры обусловливают также направление миграций ряда насекомых (комары, саранча). Замечено, что в тех районах, где, казалось бы, возмож-

ности расселения насекомых по всем направлениям одинаковы, они быстрее расселяются по направлениям преобладающих ветров.

К особенно опасным явлениям природы, связанным с перемещением воздушных масс, относят ураганы, тайфуны, тропические циклоны, они почти всегда сопровождаются огромными разрушениями и человеческими жертвами. Это спиральные завихрения воздуха, скорость ветра в которых порой достигает 240-320 км/ч. В штилевом центре - «глазе», урагана находится теплый воздух. Размеры «глаза» в поперечнике могут быть от 6 до 48 км. Диаметр всего урагана иногда достигает почти 500 км. Наличие в центре теплого воздуха способствует понижению атмосферного давления у поверхности. Теплый влажный воздух закручивается спирально вокруг «глаза». Конденсация вызывает образование кучево-дождевых облаков, сопровождаемое выделением тепла, что, в свою очередь, усиливает спиральное восхождение воздуха.

Тропические ураганы называют по-разному: в районе Карибского моря - ураганами, в северо-западной части Тихого океана - тайфунами (побережье Китая и Японии), в юго-западной части Индийского океана, Бенгальском заливе и Аравийском море - тропическими циклонами.

Смерчи (в Северной Америке они называются *торнадо*) - это стремительные вихри, только площадь, охватываемая ими, намного меньше, чем при урагане. Смерч «растет» вниз из кучево-дождевого облака. Это вытянутая вращающаяся воронка (вихрь), спускающаяся из грозового облака и обычно достигающая поверхности земли. Когда воронкообразный отросток облака достигает земли, его ширина составляет 50-500 м. Смерч проносится над поверхностью со скоростью 30-60 км/ч и примерно через 30 км обычно теряет свою силу. Если в целом скорость перемещения смерча относительно небольшая, то его воронка вращается с огромной скоростью (800 км/ч). Это вращение, направленное по спирали вверх, служит причиной значительных разрушений, особенно в городах, поселках, при встрече с отдельными зданиями. Здания обычно разрушаются в результате «взрыва»: в воронке смерча давление резко понижено по сравнению с нормальным, а здание, наполненное воздухом при обычном давлении, как бы разрывается изнутри.

Очень часто мощный поток воздуха в воронке засасывает различные предметы, воду, растения, рыб и переносит их на много километров. Известны также водяные смерчи, возникающие над нагретой морской поверхностью у берегов, т.е. в зоне температурных контрастов. Они всасывают воду теплого слоя моря вместе с ее обитателями в облака и переносят все это на сушу. Установлено, что смерчей почти нет там, где постоянно холодно или жарко - в полярных и экваториальных областях. Чаще всего они зарождаются у морских берегов, на равнинах, при формировании и прохождении грозовых фронтов.

Инверсия представляет собой необычное состояние атмосферы, при котором температура воздуха в тропосфере не убывает с высотой. В результате более холодный воздух располагается ниже более теплого. В по-

добной ситуации более холодный, а потому и более тяжелый воздух не может подняться вверх и рассеяться в атмосфере. Этим объясняется скапливание загрязнений ниже «крышки» из теплого воздуха.

Инверсии обычно возникают осенью в холодные безоблачные ночи. В ясные осенние дни солнечные лучи нагревают поверхность земли, от которой в свою очередь нагревается прилегающий к земле слой воздуха. Однако земля лучше излучает тепло, чем атмосфера. Таким образом, ночью земная поверхность излучает тепло в окружающее пространство. По мере того как земля охлаждается, она охлаждает прилегающий к ее поверхности слой воздуха. К утру возникает инверсия: вблизи поверхности земли располагается холодный воздух, тогда как воздух, находящийся выше, остается сравнительно теплым. С восходом солнца земная поверхность снова нагревается, а от нее нагревается и прилегающий к ней воздух. По мере наступления дня инверсия исчезает. Эти так называемые поверхностные инверсии обычно бывают небольшими по глубине, за исключением случаев, когда они образуются в долинах или низинах. Здесь область холодного воздуха в ночное время пополняется за счет стекания воздуха с более высоких мест, и образуется более глубокая инверсия, которая рассасывается значительно медленнее.

Более продолжительные инверсии возникают в результате «оседания» воздушной массы с высоким давлением (антициклон). Когда воздух в антициклоне опускается к земной поверхности, он сжимается и его температура возрастает. Такая воздушная масса нередко наслаивается на лежащий ниже слой холодного воздуха, в свою очередь расположенного над слоем прилегающего к поверхности более теплого воздуха. В результате образуется «сэндвич» с начинкой из холодного воздуха между двумя слоями теплого. Иногда инверсии обоих типов формируются одновременно.

С возникновением инверсии начинается накопление загрязнений в более холодном слое воздуха. Автомашины выбрасывают в атмосферу с выхлопными газами большое количество окиси углерода, окиси азота и углеводородов. Выбросы промышленных предприятий дополняют перечень загрязнителей окислами серы и частицами золы и сажи. Концентрация загрязнений в холодном нижнем слое все увеличивается. По мере того как солнце начинает разогревать нижний слой воздуха, возникают вертикальные потоки теплого воздуха, которые поднимаются до уровня, где их температура сравнивается с температурой окружающего воздуха. Однако если толщина слоя холодного воздуха достаточно велика, то поднимающиеся от земли потоки воздуха не могут проникнуть в более высокие слои атмосферы. Концентрация загрязнений в воздухе в течение дня возрастает все больше, поскольку эти загрязнения не рассеиваются в верхних слоях атмосферы. Иногда подобные условия повторяются в течение нескольких дней, и тогда уровень загрязнений увеличивается до опасного. Для разрушения устойчивого нижнего холодного слоя необходимы сильные ветры.

Поскольку промышленные и автомобильные выбросы, приводящие к формированию подобных явлений, продолжают поступать в атмосферу и во время инверсии, то при определенных погодных условиях возникают предпосылки, способствующие захвату в ловушку атмосферных загрязнений. Эта потенциальная возможность повторения трагедии может уменьшиться лишь при осуществлении ряда мероприятий, способствующих

уменьшению выбросов загрязнений в атмосферу.

Определенное экологически значимое воздействие на живые организмы оказывают и другие свойства воздуха, такие как, например, барометрическое давление. Атмосферное давление - давление, оказываемое атмосферой на все находящиеся в ней предметы и на земную поверхность. В предположении статического равновесия атмосферное давление в каждой точке атмосферы равно весу вышележащего столба воздуха, имеющего основание в 1 единицу площади и простирающегося до пределов атмосферы. За нормальное атмосферное давление принимают давление, которое уравновешивается весом ртутного столба высотой 760 мм с основанием 1 см ^{2} при температуре 0^0 С на широте 45^0 и на уровне моря, где ускорение свободного падения равно 980,665 см/с^2.

Атмосферное давление имеет прямое отношение к погоде и климату. Экологическое значение атмосферного давления заключается в том, что с увеличением высоты над уровнем моря оно закономерно уменьшается. Величина атмосферного давления, соответствующая 7,5-8 тыс. м над уровнем моря, является критической для абсолютного большинства организмов. Понижение давления влечет за собой уменьшение обеспеченности организмов кислородом, обезвоживание за счет увеличения частоты дыхания, нарушение репродуктивной функции. Хотя отдельные обитатели воздушной среды могут постоянно жить и на высотах 4000- 5000 м (орлы, кондоры), паукообразные встречаются на высоте до 7000 м.

Глава 3

Гидросфера

3.1. Мировой водный баланс

Гидросфера – это совокупность всех водных объектов Земли, которые не связаны химически и физически с минералами земной коры: материковые (глубинные, почвенные, поверхностные), океанические, атмосферные. Вода на Земле присутствует в трех агрегатных состояниях, однако наибольший объем приходится на жидкую фазу, которая оказывает большое влияние на процессы, происходящие на Земле. Как особая оболочка Земли, она включает воды: материковые, океанические, вода в атмосфере и биологическая вода.

Несколько миллиардов лет назад Земля была лишена свободной воды. Около 4 млрд. лет назад объем гидросферы составлял лишь 20 млн. км^3, т. е. был в 7000 раз меньше современного. Процесс формирования гидросферы был длительным. Происходил он за счет процесса кристаллизации гранитной магмы, изверженной при вулканической деятельности в докембрийский период. В.И. Вернадский определил, что в настоящее время на каждые 20 км^2 поверхности магмы приходится приблизительно 1,3 млрд. км^3 воды, что примерно совпадает с объемом Мирового океана. И в настоящее время этот процесс продолжается. Весь объем воды мантии, служащей источником формирования воды на Земле, оценивается в 20 млрд. км^3, что в 15 раз больше общего объема гидросферы. По некоторым данным, ежегодный прирост объема гидросферы за счет дегазации мантии составляет около 1км^3.

Таблица 3.1

Распределение водных масс в гидросфере Земли

Часть гидросферы	Объем, тыс. км^3	Процент от общего объема
Мировой океан	1370323	94,2
Подземные воды, всего	60000	4,12
в том числе зоны активного водообмена	4000	0,27
Ледники	24000	1,65
Озера	230	0,016
Почвенная влага	75	0,005
Пары атмосферы	14	0,001
Речные воды	1,2	0,0001
Вся гидросфера	1454643,2	100

Гидросфера находится в тесной зависимости с литосферой (подземные воды), атмосферой (парообразная влага) и живым веществом биосферы. Распределение воды в биосфере приведено в табл. 3.1.

Подавляющая часть природных вод (94,2%) - это воды Мирового океана, представляющего собой уникальную природную систему. В нем происходят грандиозные процессы обмена, трансформации энергии и вещества планеты.

Различные физические, химические и биологические процессы объединяются, образуя единую природу океана – древнейшую область биосферы Земли. В процессе образования океана происходили глобальные изменения природной среды под воздействием различных процессов: солнечного излучения, геологических и геохимических факторов и, что весьма значимо, под влиянием биологических процессов. Живые организмы, поглощая солнечную энергию, способствуют накоплению свободной энергии и передаче ее по трофическим уровням в экосистемах, изменению геохимических циклов, осадкообразованию и формированию различного рода илов.

Подземные воды связаны с поверхностными: образуются они в результате процессов фильтрации поверхностных вод в глубинные слои Земли. Кроме того, подземные воды питают реки, озера и моря. Следовательно, они являются неотъемлемой частью океана и поверхностных вод суши. В той же мере это относится к атмосферной воде – парообразной влаге.

Гидросфера отличается высокой динамичностью, движущей силой которой служит круговорот воды. Гидросфера Земли находится в тесной взаимосвязи с другими сферами – литосферой и атмосферой. Связь гидросферы с земной корой осуществляется посредством подземных вод. Атмосферная влага в виде пара связывает гидросферу с атмосферой.

Гораздо сложнее взаимодействие гидросферы с живыми компонентами биосферы. Основную массу организмов составляет вода - живые организмы состоят не менее чем на 75% из воды. Но общая масса воды как части органического мира незначительна относительно объема гидросферы.

Можно сказать, что наша планета является планетой воды, а не земли, так как более 75% ее занимают водные поверхности океанов, льдов, озер и болот, а над планетой плывут облака в виде скоплений парообразной воды. Весь объем гидросферы, по современным подсчетам, несколько превышает 1,4 млрд. км ^{3}. При этом объем воды лишь Мирового океана превышает 1,37 млрд. км^3 (94 % общего объема). Мировой океан – это непрерывная водная оболочка Земли, окружающая материки и острова и обладающая общностью солевого состава.

Современные сведения об объеме воды озер и водохранилищ не всегда достоверны. Это связано с отсутствием систематизированных данных о глубине и площади больших озер, с трудностями учета объема воды в малых озерах. Считается, что объем воды во всех озерах мира составляет не менее 275 000 км^3.

Водохранилища наполняются водой речного стока, который не достигает океана, поэтому рост объема озерной части гидросферы происходит за счет океана, теряющего соответствующий объем (5 000 км ^{3}).

Объем почвенной влаги оценивается в 83 тыс. км^3. Почвенная влага находится в непосредственном обмене с атмосферой и легко подвержена испарению за счет транспирации. При этом часть почвенной влаги расходуется на питание подземных вод, объем которых определить наиболее сложно (600 000 км^3, 4% общего объема). Значительная масса вод земной коры химически связана с минералами. Объем химически связанной воды верхней части земной коры составляет 60 млн. км^3.

В пределах распространения вечной мерзлоты, до глубины 500 м, а иногда и глубже, подземные воды находятся в твердом состоянии в виде льда. В среднем на подземные воды суши приходится 35 % всех ресурсов пресной воды.

Большое хозяйственное значение имеют минеральные подземные воды. Это воды, которым присущи необычные свойства (например, повышенная температура) или определенная концентрация минеральных веществ, растворенных газов и органических соединений. По своему назначению они делятся на лечебные, которые применяются в лечебных целях (для питья или водных процедур); промышленные, которые представляют собой сырье для добычи полезных компонентов (поваренной соли, брома, иода, бора и др.); термоэнергетические, которые служат для получения подземного тепла.

Когда впервые был определен объем всех русловых речных вод Земли – около 1200 км^3, или менее одной десятитысячной процента всего объема гидросферы, удивительным казалось то, что столь малый объем служит началом формирования почти всех источников пресных вод, доступных для использования. Однако это явление вполне закономерно в связи с тем, что водообмен в речных руслах обладает исключительно высокой активностью.

Крупной частью гидросферы являются полярные ледники – 1,6 % общего объема гидросферы.

Недостаточно полно оценена еще одна часть гидросферы – водные пары атмосферы. Ее объем был вычислен М.И. Львовичем на основании данных о влажности воздуха в пределах тропосферы, выше которой влага фактически отсутствует. Объем пара в пересчете на воду составил 14 000 км^3 (0,001%). Объем этой части гидросферы мал, но ее значение чрезвычайно велико, так как она дает начало всем пресным водам на Земле.

Мировой водный баланс достаточно постоянен, но балансы континентальных и океанических вод, если их брать в отдельности, непостоянны вследствие ежегодных вариаций режима осадков (табл. 3.2). В геологическом масштабе времени легко обнаружить частые нарушения равновесия в балансе океанических и континентальных вод. Именно этим можно объяснить значительные изменения уровня океанов, изменения с которыми в большинстве случаев связаны изменения климата на планете.

Таблица 3.2

Мировой водный баланс

Элемент баланса	Поступления		Расход	
	объем, км^3	слой, мм	объем, км^3	слой, мм
Суша (поверхность 148 628 000 км^2)				
Осадки	108 400	720	-	-
Речной сток	-	-	37 300	250
Испарение	-	-	71 100	470
Океан (поверхность 361 455 000 км^2)				
Осадки	411 600	1 140	-	-
Речной сток	37 300	100	-	-
Испарение	-	-	448 900	1 240
Сумма для всего земного шара	557 300	-	557 300	-

В настоящее время распределение влаги в системе континент – океан является результатом не совпадающих во времени динамических процессов (климатических, тектонических и т.д.). Современный период времени характеризуется переходом из влажной континентальной фазы в сухую. Это означает, что континенты отдают часть своей воды океанам. Наблюдения последних восьмидесяти лет подтверждают систематическое ежегодное повышение уровня океанов на 1,2 мм, что соответствует уменьшению запасов вод суши на 430 км^3 в год.

Ежегодный объем воды, который человечество может использовать на свои нужды, составляет 37,3 тыс. км^3, если учитывать количество воды, впадающей в моря только по гидрографической сети. Кроме того, может быть использована часть подземных вод, равная 13 тыс. км^3.

3.2. Круговорот воды

Среди многообразных черт и особенностей гидросферы следует особо подчеркнуть движение. Гидросфера динамична. Запасы воды на земле находятся в подвижном равновесии благодаря круговороту воды, который происходит под влиянием солнечной радиации. С круговоротом воды связано опреснение водных ресурсов, распределение воды на суше, обеспеченность пресной водой растений, животных и человека. Круговорот воды – процесс, который является предметом изучения гидрологической науки. *Гидрология* – наука, изучающая природные воды, явления и процессы ее круговорота и вещественного обмена.

Суть процесса круговорота воды заключается в следующем. Вода, испаряясь с поверхности океана и суши в виде водяных паров и образующаяся в результате транспирации растениями, пополняет атмосферу влагой. Водяной пар атмосферы конденсируется и дает атмосферные осадки, выпадающие в виде дождя и снега. Дождевые и снеговые воды частично впитываются в почву, а вода, не успевающая просочиться, образует по-

верхностный сток. Она стекает со склонов, собирается в оврагах и болотах в ручьи, по разветвленной сети которых попадает в реки. Но это лишь часть речного стока – *поверхностный*. Реки питаются также и подземными водами, которые восполняются в результате просачивания вглубь почвенной воды. Часть наиболее активных подземных вод выходит на поверхность в виде источников или дренируется реками. Реки чаще всего получают постоянный приток воды именно благодаря устойчивому питанию подземными водами. Воды озер и морей, также как океана, пополняются не только атмосферными осадками, но и речными водами; таким образом, происходит непрерывное восполнение воды, испаряющейся с поверхности океанов, морей и бессточных озер. Почвенная влага расходуется на испарение и на транспирацию растений и обогащает атмосферу водяным паром, а также питает подземные воды.

В каждый момент времени атмосфера содержит свыше 13 млрд т влаги. Эта цифра практически постоянна, так как потери за счет выпадения осадков в конечном итоге непрерывно восполняются испарением. Скорость круговорота влаги в атмосфере определяется колоссальной цифрой – около 16 млн.т/с, или 505 млрд.т в год. Если бы вдруг весь пар в атмосфере сконденсировался и выпал в виде осадков, то вода могла бы покрыть всю поверхность земного шара слоем примерно 2,5 см. Иными словами, атмосфера содержит одномоментно количество влаги, эквивалентное всего 2,5 см осадков в виде дождя. Поскольку на Землю в среднем за год выпадает около 92 см осадков, то, следовательно, в атмосфере влага обновляется 36 раз, т.е. 36 раз атмосфера насыщается влагой и освобождается от нее. Это значит, что молекула водяного пара пребывает в атмосфере в среднем 10 дней.

Осадки на земной поверхности выпадают неравномерно. Наибольшее их количество приходится на экваториальную зону – Индию, Гавайские острова, верхнее течение реки Амазонки и др. Значительную роль в распределении осадков на поверхности планеты играет близость больших водных пространств. В Южном полушарии на широте от 10 до 70^0 выпадает больше осадков, чем на той же широте Северного полушария.

При изучении экологической роли воды учитывается не только количество выпадающих осадков, но и особенности их распределения в течение года. Так, экваториальные части Земли имеют обычно два дождевых периода. Кроме того, экологически значимым является соотношение величины осадков и испаряемости.

С появлением жизни на Земле круговорот воды стал довольно сложным, так как к простому явлению физического испарения добавился более сложный процесс биологического испарения, связанный с жизнедеятельностью растений и животных. К тому же роль человека по мере его развития становится все более значительной в этом круговороте. Благодаря круговороту гидросфера имеет непрерывный характер, все воды Земли едины по происхождению. Движущие силы круговорота воды – солнечная энергия и сила тяжести. Под влиянием тепла происходит испарение, конденсация во-

дяных паров. Сила тяжести служит причиной падения капель дождя, течения рек, движения почвенных и подземных вод.

Из сказанного видно, что круговорот воды определяется действием двух независимых процессов. Первый из них – дегазация вод мантии – источник пополнения гидросферы. Он протекает медленно и продолжается уже миллиарды лет. Другой процесс круговорота воды, охарактеризованный выше, протекает гораздо интенсивнее; его цикл ограничивается сменой сезонов, т. е. одним годом.

3.3. Свойства воды

Вода является необходимым условием существования всех живых организмов на Земле. В водной среде зародилась жизнь. Обитатели суши и поныне зависимы от воды. Для многих видов животных и растений вода продолжает оставаться средой обитания. Она является основной средой в клетке, где осуществляются реакции обмена.

Вода обладает целым рядом специфических особенностей, обусловливающих строение и жизнедеятельность живых организмов. Прежде всего вода является единственным веществом на Земле, которое одновременно в больших количествах встречается в жидком, твердом и газообразном состоянии.

К наиболее важным с экологической точки зрения относят следующие физические и химические свойства воды.

Растворимость. Вода обладает высокой растворяющей способностью, обусловленной полярностью ее молекул и способностью образовывать водородные связи, благодаря чему она является средой и непосредственным участником большинства биохимических реакций и процессов, протекающих в живых организмах. Водные растворы – основа почвенного питания растений и транспорта веществ по организму.

Плотность воды. Температурные свойства воды обнаруживают существенные аномалии. Большинство веществ при плавлении расширяются, а вода, наоборот, сжимается. При замерзании воды объем льда увеличивается. При охлаждении воды, начиная с 3,98^{0}С, плотность ее уменьшается, а при замерзании скачкообразно падает. Эти объемные изменения воды – один из мощных экологических факторов, который формирует облик поверхности Земли, разрушая материнские породы гор, которые впоследствии служат первичным материалом для образования почвы.

Большое значение для сохранения и поддержания жизнедеятельности водных организмов имеет то, что при 4^{0}С у воды наибольшая плотность, в результате чего лед образуется только на поверхности водоемов, создавая таким образом защитный теплоизоляционный слой, предохраняя придонный слой воды от замерзания. Сезонные изменения плотности воды являются причиной циркуляции воды в озерах и прудах, улучшая тем самым ее аэрацию.

Удельная теплоемкость и теплопроводность. Водородные связи молекул воды примерно в 10 раз прочнее, чем связи, обусловленные межмолекулярными взаимодействиями, характерными для большинства других жидкостей. Для плавления, нагревания и испарения воды необходима значительно большая энергия, чем для других жидкостей, что и объясняет наличие таких аномалий в физических свойствах воды: высокие значения теплоты плавления и испарения, удельной теплоемкости.

Высокая скрытая теплота плавления льда (336 Дж/г) обеспечивает постепенное замерзание рек, озер, морей, а также таяние снега, льда, ледников. Благодаря этому свойству воды на нашей планете сезонные (температурные) переходы происходят плавно.

Обладая наивысшей среди жидкостей удельной теплоемкостью и высокой теплопроводностью, вода является идеальной жидкостью для поддержания теплового равновесия организмов. Высокая теплоемкость делает воду главным аккумулятором солнечной и термической энергии и распределителем ее на планете. Высокая скрытая теплота испарения (2263,8 Дж/г при 100 ^{0} С) воды спасает открытые водоемы от чрезмерной убыли ее в жаркую погоду.

Поверхностное натяжение. Биологически значимым свойством воды является также высокое поверхностное натяжение, с которым связаны значительные силы сцепления ее молекул (капиллярности) и прилипания. Благодаря этому осуществляется передвижение воды и ее растворов по стеблю растений, адсорбционные процессы в корневых системах, системах пищеварения и дыхания. Поверхностная пленка воды используется многими организмами для передвижения (водомерки, вертячки, тропические ящерицы – василиски), прикрепления и перемещения (многие моллюски, личинки комаров).

Солевой состав воды. Вода всегда содержит соли или, скорее, их ионы, газы и органические вещества; концентрация растворенных веществ может изменяться в зависимости от различных условий, но редко бывает высокой.

При концентрации солей до 0,5г/л вода считается пресной, до 25г/л - солоноватой и более 25 г/л – соленой. Наименее минерализованными водами являются атмосферные осадки, в которых в среднем концентрация солей составляет около 1-10 мг/л, затем пресные озера и реки (5-20 мг/л). Соленость океана колеблется около 35 г/л. Моря имеют меньшую минерализацию (Каспийское 11-13 г/л). Минерализация подземных вод вблизи поверхности в условиях избыточного увлажнения составляет до 1г/л, а в засушливых условиях до 100 г/л. Максимальные концентрации солей в засушливых озерах (до 300 г/л) и глубокозалегающих подземных водах (до 600 г/л).

В пресных водах обычно преобладают ионы HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}. По мере увеличения общей минерализации растет концентрация ионов SO^{4-}, Cl^-, Na^+, K^+. В высокоминерализованных водах преобладают ионы Na+ и

Cl. Прочие элементы содержатся в очень малых количествах, но почти все естественные элементы периодической системы найдены в природных водах.

Химический состав крови человека по содержанию хлора, натрия, кислорода, кальция, калия очень близок к химическому составу морской воды, где первоначально развивалась жизнь. Вероятно, в этом и проявляется то положительное влияние морской воды на организм человека, которое достигается через обмен веществ между организмом и окружающей его средой сквозь кожу, потовые железы, поры, при определенных условиях работающие не только на выделение, но и на поглощение.

Из растворенных газов в природных водах присутствуют азот, кислород, двуокись углерода, благородные газы, редко углеводороды и сероводород. Сероводород образует значительные скопления на отдельных участках океана. Известно, например, что Черное море начиная с глубин 150 – 200 м содержит много сероводорода. Сероводородные пятна обнаружены и в других районах Мирового океана. Сероводородные участки похожи на своеобразные модели бескислородного первичного океана с популяциями, живущими без свободного кислорода.

Концентрация органических веществ невелика. В реках она близка к 20 мг/л, в подземных водах еще меньше и в океанах всего 4 мг/л. Исключение составляют болотные воды и воды нефтяных месторождений, а также воды, загрязненные бытовыми и промышленными стоками, где их количество намного больше. Состав органических веществ чрезвычайно разнообразен и включает продукты жизнедеятельности живых организмов, которые населяют воды, а также соединения, образующиеся при распаде их остатков.

Уже с первого взгляда легко обнаружить, что флора и фауна пресных водоемов совершенно отлична от морской, причем в качестве лимитирующего фактора, как правило, выступает именно соленость воды. Особый случай представляют собой рыбы, которые для размножения меняют среду обитания. Угри живут в реках, но, достигнув половой зрелости, спускаются вниз по течению и идут размножаться в Саргассово море, преодолевая огромные расстояния. Особенности их размножения еще недостаточно изучены. После нереста взрослые рыбы быстро гибнут. Молодь, достигнув известной стадии развития, возвращается в реки, где превращается во взрослых рыб. И напротив, лососевые и сельдевые, всю жизнь проводят в море, а для нереста поднимаются в реки. В некоторых случаях после размножения эти рыбы возвращаются в море и возобновляют там обычную жизнь. Чаще всего они гибнут на месте нереста. С помощью специальных исследований удалось показать, что лососи всегда входят для нереста в ту реку, в которой вывелись. В настоящее время во многом исследованы механизмы и те средства, с помощью которых рыба находит нужную реку. Они основаны на чрезвычайно точном восприятии физических и химиче-

ских свойств воды и на сохранении их в памяти.

Количество растворенного в воде кислорода. Подобно наземным организмам, водные животные и растения дышат, поэтому количество растворенного в воде кислорода имеет большое значение. Кислород мало растворим в пресной воде и еще меньше - в соленой. Однако такого небольшого количества хватает для дыхания водных животных, но в теплых водах оно становится все более затруднительным. Например, форель, нуждаясь в большом количестве кислорода, может жить только в холодных и хорошо перемешиваемых водах; у карпа и линя - противоположные потребности: эти рыбы в состоянии довольствоваться 1 $см^3$ кислорода в литре воды и жить в стоячих и теплых водах.

Вода обладает *полной прозрачностью,* что имеет значение для большинства жизненно важных процессов – фотосинтеза, фотопериодизма, ориентации в пространстве и т.п.

Устойчивость воды. В обычных условиях вода достаточно устойчивое соединение. Распад молекул воды (термическая диссоциация) становится заметным лишь выше 1500^0С. Разложение воды происходит также под действием ультрафиолетового (фотодиссоциации) или ионизирующего излучения (радиолиза). При распаде воды кроме водорода и кислорода образуется также перекись водорода и ряд свободных радикалов. Кроме того, вода является источником газообразного кислорода, донором ионов водорода, используемых в фотосинтетических реакциях.

3.4. Источники пресной воды

Из общего количества воды на Земле столь нужная для человечества пресная вода составляет немногим более 2% от общего объема гидросферы, или 37526,3 тыс. $км^3$ (табл. 3.3).

Таблица 3.3.

Мировые запасы пресной воды

Источники пресной воды	Объем, тыс. $км^3$
Пресная вода в озерах и других внутриконтинентальных водоемах	125
Пресная вода в ручьях, реках и т.д. (в среднем)	1,25
Грунтовые воды (до глубины 0,8 км от поверхности)	4200
Грунтовые воды (на глубине от 0,8 до 4 км)	4200
Пресная вода в ледниках и полярных ледяных шапках	29000

Нужно учесть, что основная часть пресных вод (около 70 %) заморожена в полярных льдах, вечной мерзлоте, на горных вершинах. Воды в

реках и озерах составляют лишь 3 %, или 0,016% от общего объема гидросферы. Таким образом, воды, пригодные для использования человеком, составляют ничтожную часть общих запасов воды на Земле. Проблема усложняется еще и тем, что распределение пресной воды по земному шару крайне неравномерно. В Европе и Азии, где проживает 70% населения мира, сосредоточено лишь 39% речных стоков.

Россия по ресурсам поверхностных вод занимает ведущее место в мире. Только в озере Байкал сосредоточено 20 % мировых запасов пресной воды. При общем объеме 23 тыс. км^3 в озере ежегодно воспроизводится около 60 км^3 редкой по чистоте воды.

На Земле становится все больше мест, где пресной воды катастрофически не хватает. Для получения дополнительного количества воды, бурят глубокие скважины, сооружаются водоводы, акведуки и новые водохранилища.

Пресную воду мы получаем либо из подземных водоносных горизонтов, либо из поверхностных водоемов, т. е. из природных озер и рек или из водохранилищ, созданных руками человека. В США за тридцатилетний период, с 1950 по 1980 г., использование подземных и поверхностных вод увеличилось на 150 %-с 810 млрд. л до 1625 млрд. л в сутки. При этом на долю поверхностных вод пришлось около 80 %, а подземных вод около 20 %. Такой прирост потребления воды определяется главным образом возросшими потребностями промышленности и расходами на ирригацию.

Существуют и другие способы получения воды, пригодной для питья. В некоторых промышленно развитых районах обессоливание, или опреснение, морской воды каким-либо способом, например с помощью перегонки, может сделать даже океаническую воду пригодной для питья. Там, где воды очень мало, люди собирают в цистерны дождевую воду, чтобы использовать ее для своих нужд. Однако увеличение запасов воды таким дорогостоящим способом незначительно. В основном люди всецело полагаются на пресные подземные и поверхностные воды как источники питьевой воды.

3.5. Поверхностные и грунтовые воды

Плотина, перекрывающая реку, останавливает течение воды, образуя водохранилище. Она пропускает через водосбросы лишь такое количество воды, которое обеспечивает ее течение ниже, и удерживает воду выше по течению для того, чтобы постепенно выпускать ее потом, когда напор потока снизится. Водохранилище увеличивает количество воды, доступной для человека и окружающей природы. Без водохранилища не возможно устойчивое использование речных ресурсов, а из водохранилища любой город может постоянно без перебоев забирать необходимое количество воды.

Таким образом, наземные водохранилища выравнивают поступление пресной воды во времени; собирая большие ее массы в благоприятные сезоны, они делают воду доступной в периоды, когда наблюдается ее дефицит. В противоположность этому водоносные горизонты являются естественными подземными резервуарами, в которых вода содержится до того момента, когда она перейдет в поверхностные воды озер и рек. Водонос-

ные горизонты могут быть огромными, простираться на сотни километров; объемы воды в таких горизонтах огромны.

По своему качеству вода из наземных водохранилищ отличается от подземных вод. В поверхностных водах всегда содержатся различные взвеси, часть которых оседает на дно, другая же остается в воде. Кроме того, в поверхностных водах, как правило, присутствуют органические соединения, попадающие туда с городскими и сельскохозяйственными стоками, поэтому, если поверхностные воды используются для питьевых целей, они должны проходить цикл полной очистки. Очистка поверхностных вод необходима для удаления неприятного вкуса, цвета и запаха, а также для того, чтобы сделать воду прозрачной и освободить ее от опасных химических соединений и болезнетворных организмов.

Вода, извлекаемая из водоносных горизонтов, намного чище, особенно если этот горизонт долго не эксплуатировался или не был сильно истощен. В подземных водах, кроме того, содержится большое количество растворенных минеральных солей. В грунтовых водах нет водорослей, поскольку они лишены солнечного света. Вода достигает водоносного горизонта, просачиваясь через мощные слои почвы, содержание в ней бактерий и вирусов много ниже, чем в надземных водах. Однако для подземных вод характерен запах сероводорода, возникающий в результате разложения бактериями органического вещества, которое происходит в отсутствие кислорода.

Грунтовая вода может оказаться загрязненной химическими веществами, нефтепродуктами и микроорганизмами, находящимися в значительных количествах на поверхности земли. Поскольку смена воды в водоносных горизонтах происходит крайне медленно, занимая нередко нескольких столетий, в ней могут накапливаться различные микроорганизмы и концентрироваться химические элементы. Поэтому грунтовые воды могут быть крайне ненадежным источником питьевого водоснабжения – попадание в них различных загрязнителей может сделать их непригодными для целых поколений.

Водохранилища бывают двух типов: одноцелевые и многоцелевые. Одноцелевые водохранилища выполняют лишь одну функцию, такую, например, как хранение государственного запаса воды. И функция эта сравнительно проста - выпускать только такое количество воды, которое необходимо. Государственный запас воды включает воду для питья и бытовых нужд, для промышленных целей, а также для полива. Многоцелевые водохранилища могут служить различным целям: это и хранение государственного запаса воды, ирригация и судоходство; они могут использоваться также для организации отдыха, производства электроэнергии, защиты от наводнений и обеспечения природоохранных мероприятий.

Ирригационная вода предназначена для обеспечения урожаев, ее использование часто сезонное, с большими расходами в жаркое время года. Пригодность рек для судоходства может поддерживаться постоянным сбросом воды в течение года. Для производства электроэнергии требуются и постоянные сбросы воды, и высокий ее уровень. Для защиты от наводнений необходимо, чтобы водохранилище сохранялось, насколько это возможно, но не было полностью заполненным. Природоохранные мероприятия предполагают сброс воды во время ее низкого уровня, для того

чтобы защитить водные и околоводные виды растений и животных. Такие сбросы воды разбавляют сточные воды, делая их менее токсичными для биоты. Они позволяют также вытеснить соленую воду из эстуариев, поддерживая подходящую среду обитания чисто эстуарных видов.

Процессы в водохранилищах, используемых для этих разнообразных целей, гораздо более сложны, чем процессы в одноцелевых водохранилищах, поскольку некоторые из этих целей противоречат друг другу. Водохранилища могут оказывать существенное воздействие на окружающую среду.

Грунтовые воды выполняют более ограниченный набор функций, чем поверхностные. Во многих городах грунтовые воды являются единственным источником водоснабжения. В сельских районах, где стоимость строительства и расширения водораспределительной системы очень высока, люди для удовлетворения своих потребностей в воде пользуются колодцами. Грунтовые воды применяются также для орошения; это обычная практика в сельскохозяйственных районах, где мало поверхностных вод или где строительство оросительных каналов чересчур дорого. Грунтовые воды обеспечивают водой около половины населения Соединенных Штатов. Они дают также приблизительно треть всей воды, используемой в США для орошения.

Грунтовые воды выполняют еще одну довольно незаметную и до конца еще не оцененную функцию. Они подпитывают летом ручьи и небольшие реки, которые могут быть использованы в качестве источника воды, и не дают пересыхать им.

Фактически в мировых ресурсах пресной воды ресурсы подземных вод намного превосходят ресурсы поверхностных (табл. 3.3). Однако представление о неограниченных их запасах обманчиво, потому что грунтовые воды накапливаются очень медленно, в течение сотен и даже тысяч лет. Скорость изъятия грунтовых вод не соответствует скорости притока новых объемов воды; заполнение водоносного горизонта происходит в результате такой же медленной постоянной фильтрации, которая имела место в прошлом. Кроме того, грунтовые воды на глубине более 0,8 км часто содержат слишком много солей, чтобы использовать их в качестве воды для питья и орошения.

Использование грунтовых вод дает потребителям целый ряд преимуществ. Во-первых, поскольку грунтовая вода порой располагается вблизи пункта ее использования, можно экономить на прокладке труб, а нередко и на стоимости откачки. Во-вторых, можно обеспечить устойчивый выход воды в течение долгого времени как в сухие, так и во влажные сезоны. Это преимущество, однако, может оказаться иллюзорным, если водоносный горизонт истощен последовательными чрезмерными откачками. В-третьих, в слаборазвитых районах грунтовые воды обычно не подвержены бактериальному, вирусному или химическому загрязнению.

Существуют и исключения из этих общих характеристик качества. Грунтовая вода может оказаться загрязненной химическими веществами и микроорганизмами. Например, химические соединения из минеральных удобрений просачиваются через почву в подземный резервуар, служащий источником воды для города Тусона в Аризоне. В 1964 г. болезнетворные бактерии попали в водоносный горизонт, поставляющий часть воды для

Лос-Анджелеса; из-за отсутствия надлежащего хлорирования часть населения города, пользовавшаяся этой водой, была поражена эпидемией дизентерии. Если в грунтовые воды попадут болезнетворные микроорганизмы, они могут оставаться там в течение жизни многих поколений, поскольку смена воды в водоносных горизонтах происходит крайне медленно, занимая нередко несколько сотен лет. Другим негативным фактором является то, что, по мере того как скважины углубляются, количество «вкусной» воды начинает уменьшаться. Вода, выкачиваемая с больших глубин, - это древняя вода, которая растворяла в себе минеральные соли из почвы, возможно, в течение тысячелетий. Мы называем такие насыщенные минеральными солями воды минерализованными. Если содержание солей высокое, то вода не будет способствовать увеличению урожаев и может даже погубить почву и растения.

Сколько же воды можно изымать из водоносного горизонта, чтобы не причинить ущерба ее запасам? Как и в случае с водохранилищами, это количество зависит от поступления воды в водоносный горизонт. Ежегодный забор воды не должен превышать ежегодного восполнения горизонта, если только потребители воды не хотят, чтобы объем воды в водоносном горизонте начал сокращаться. В некоторых районах скорость забора воды превышает скорость ее восполнения и уровень воды в водоносных горизонтах понижается. Известно, что в пустынных областях дожди лишь изредка пополняют водоносный горизонт. В течение многих лет в результате испарения в атмосферу улетучивается большая часть воды с поверхности. Только в особо влажные годы воды оказывается достаточно для того, чтобы часть ее пополняла водоносный горизонт. Поскольку водоносные горизонты восстанавливаются очень медленно, казалось бы, разумно избегать любого длительного использования грунтовых вод, когда вода забирается со скоростью, превосходящей скорость ее естественного восполнения. Следует активно избегать орошаемого земледелия, на которое тратятся грунтовые воды намного быстрее, чем происходит их возобновление.

Несмотря на то, что новых источников воды становится все меньше, часто и сейчас можно удовлетворить растущие потребности в ней. Один из очевидных способов этого - побудить людей экономить воду. Добиться этого, в частности, можно, повысив плату за воду, поскольку тогда люди будут искать способы ее экономии. Экономить можно везде: в быту, в промышленности и в сельском хозяйстве.

Имеется и другой способ удовлетворить растущие потребности в воде без создания новых источников - это соединение и совместное использование уже существующих систем. Необходимо комплексное использование грунтовых и поверхностных вод. Поскольку запасы поверхностных вод не столь постоянны, как запасы грунтовых, т. е. доступное количество первых может меняться в разное время, грунтовые воды могут использоваться для того, чтобы “заполнять” периоды нехватки воды. Грунтовые воды компенсируют недостаток поверхностных вод, стабилизируя их запас на более высоком уровне без экстенсивного использования самих грунтовых вод.

Во многих районах часто можно создавать запасы воды, не нанося при этом значительного ущерба природе; для этого необходимо планировать управление водными ресурсами, которые координируют действия уже

существующих водохранилищ. Современная инженерная наука нашла методы для того, чтобы путем объединения управлять независимыми речными системами таким образом, что выход воды из них превосходил тот, который получается при их независимом использовании. Это означает, что резервуары, образующие систему, способны устойчиво давать больше воды, если спуск воды из них синхронизирован и объединен, чем при индивидуальном управлении ими. Создание объединенных систем главных водных источников района может предотвратить возможные нарушения в водоснабжении. Районы, имеющие избыток воды, могли бы отдавать ее часть тем районам, которым воды не хватило. Соединение водохранилищ в единую систему и единое управление ими - это нововведения, которые могут сохранить для будущих поколений достаточные запасы воды, не требуя новых источников и новых плотин.

В США, например, было принято немало проектов увеличения водоснабжения, которые предусматривают строительство новых плотин для создания запасов воды и предупреждения наводнений, новых каналов, гидроэнергетических установок, систем очистки водоемов и переброски воды из одного района в другой. Один из таких шагов - постройка небольших плотин на речках, являющихся собственностью фермеров; образующиеся в результате этого пруды можно использовать как источник воды для орошения. В районах с пористой почвой на частных землях с помощью плотин могут быть построены системы прудов. Вода, фильтруясь через такую почву, будет пополнять запас грунтовых вод под территорией фермы. Канавы, прорытые поперек направления текущих поверхностных и грунтовых вод, также можно использовать для пополнения запасов грунтовых вод.

Новой технологией, опробованной пока лишь экспериментально, является нагнетание сжатого воздуха в скважины для того, чтобы "вытолкнуть" воду из ненасыщенной зоны вниз, под уровень грунтовых вод. Эта вода, удерживаемая капиллярными силами в верхней ненасыщенной зоне, обычно очень медленно просачивается вниз к водоносному горизонту.

3.6. Использование пресных вод

В зависимости от того, каким образом используют водные ресурсы, все отрасли хозяйственной деятельности подразделяют на две категории:

- *водопользователи* - это отрасли, которые используют водоемы для различных целей, но безвозвратный водозабор не ведут. К ним относятся гидроэнергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство, местные органы, использующие воду для нужд населения, т.е. службы хозяйственно-питьевого потребления;
- *водопотребители* - это отрасли, которые используют воду из водоемов, причем часть ее используется безвозвратно. Крупнейшими водопотребителями являются теплоэнергетика (особенно АЭС), сельское хозяйство, а из промышленности - химическая и металлургическая.

Современный город с населением 1 млн. человек потребляет в сутки более 300 тыс.м^3 воды, из которых 75 - 80% превращаются в сточные воды. Потребности в чистой, пресной воде с каждым годом растут. Так, напри-

мер, на производство одной тонны некоторых видов продукции необходимое количество воды приведено на рис. 3.1.

Все большее значение на промышленных предприятиях приобретает применение оборотной системы водоснабжения или повторного использования воды. В 1985 году удельный вес оборотной и последовательно используемой воды на производственные нужды составлял 237,6 км^3, или 71% от всей необходимой для производственных процессов. На предприятиях Оренбуржья введение оборотной системы водоснабжения дало возможность повторно использовать 1 млрд. 900 млн. кубометров воды в год, в результате чего река Урал стала чище. Внедрение в Челябинске оборотного водоснабжения на промышленных предприятиях позволило резко сократить потребление речной воды с 8,8 до 5,5 тыс. м^3/сутки и уменьшить сброс сточных вод в канализацию.

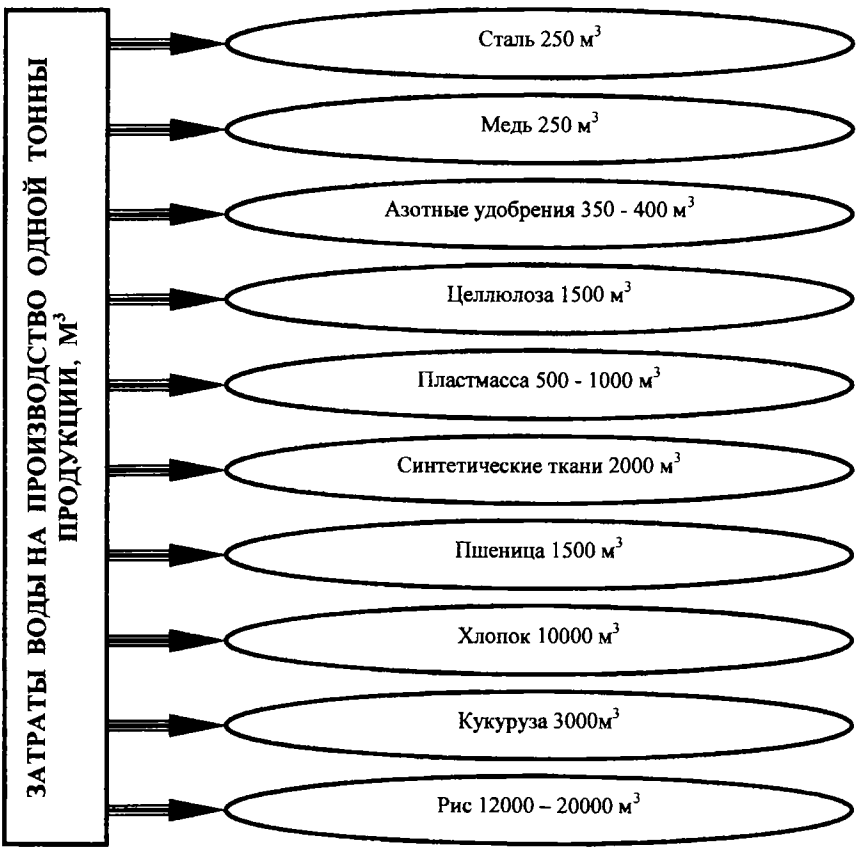

Рис.3.1. Затраты воды на производство некоторых видов продукции

Заслуживает внимания повторное использование очищенных сточных вод из систем канализации для орошения полей и лугов. Например, в Челябинской области в 80—90-х гг. очищенными стоками поливали поля на площади более 4,5 тыс. гектаров. Следовательно, оборотное водоснабжение является существенным резервом экономного использования воды и сохранения водоемов в чистоте. Но оно должно совершенствоваться, способствуя снижению вредных стоков, отвечать правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. Использование оборотных и замкнутых систем водоснабжения позволяет в 10 – 50 раз уменьшить потребление природной воды. Схема оборотного водоснабжения приведена на рис. 3.2.

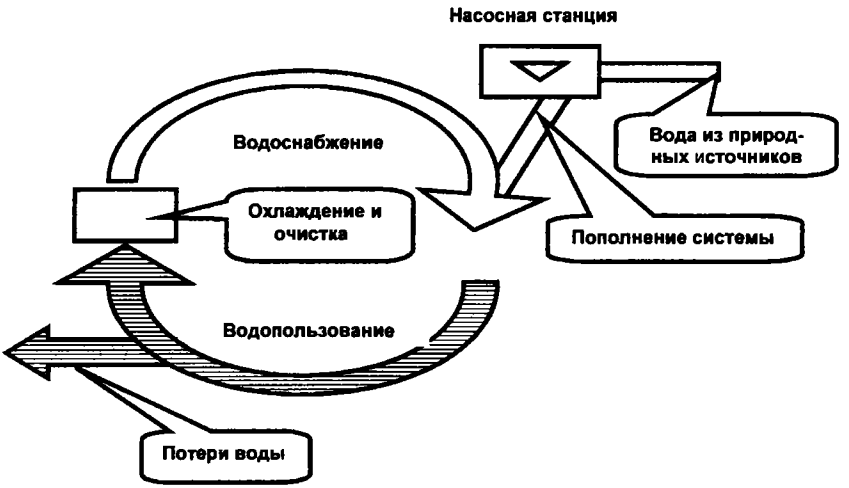

Рис. 3.2. Схема оборотного водоснабжения

Потребление воды промышленностью и сельским хозяйством в настоящее время достигло огромных размеров. При этом многие считают, что запасы пресной воды неисчерпаемы и что пресной воды достаточно для всех нужд человечества. Конечно же, это глубокое заблуждение. Человечеству не угрожает недостаток воды. Ему грозит недостаток чистой воды. Для примера приведем распределение и использование водных ресурсов России в 90-х годах прошлого столетия приведено на рис. 3.3.

Основные причины возникновения проблемы недостатка пресной воды в настоящее время следущие:

1. Интенсивное увеличение потребностей в воде в связи с быстрым ростом населения планеты и развитием отраслей деятельности, требующих огромных затрат водных ресурсов.

2. Потери пресной воды вследствие сокращения водоносности рек и снижения объема подземных вод.

3. Загрязнение водоемов промышленными и бытовыми стоками.

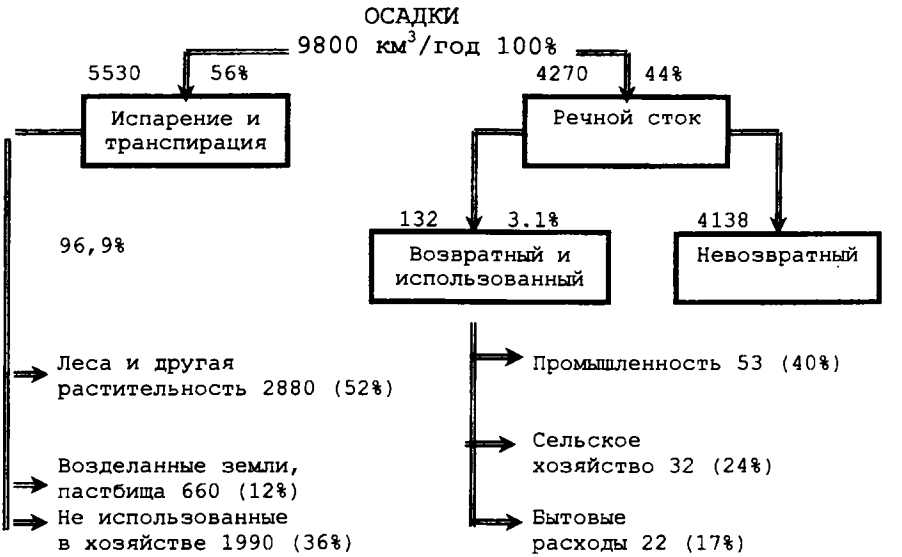

Рис. 3.3. Распределение и использование водных ресурсов России

По оценкам специалистов, безвозвратное водопотребление составляет около 150 км^3 в год, т.е. 1 % устойчивого стока пресных вод. По расчетам, потребность в воде на Земле до 2010 года будет возрастать в среднем на 3,1 % в год. В настоящее время люди ежегодно расходуют 3000 км^3 пресной воды.

Больше всего воды потребляет сельское хозяйство. При этом 75% ее теряется безвозвратно. В промышленности вода используется для приготовления растворов, охлаждения и нагревания жидкостей и газов, очистки растворов и газовых смесей, транспортировки сырья, для теплоэнергетических целей, для удаления отходов, мытья оборудования, тары, помещений и др.

Средний химический комбинат ежесуточно расходует (т. е. потребляет и отводит) 1 - 2 млн м^3 воды. В крупных городах с населением свыше 3 млн человек суточный расход воды достигает 2 млн м^3, а годовой - 1 км^3. При этом к качеству потребляемой воды предъявляются достаточно высокие требования, что вызывает необходимость сложных технологических процессов водоочистки и водоподготовки.

Качество воды, используемой на производственные цели, устанавливается в каждом конкретном случае в зависимости от назначения воды и требований технологического процесса. Качество воды - это совокупность физических, химических, биологических и бактериологических показателей, обусловливающих пригодность воды для использования в промышленном производстве и быту.

Глава 4

Педосфера

Педосфера – почвенный слой Земли, часть биосферы, основная составная часть которого - почва. *Почва* – природное образование, состоящее из генетически связанных горизонтов, формирующихся в результате преобразования поверхностных слоев литосферы под воздействием воды, воздуха и живых организмов. Из этого определения видно, что почва является той средой, где взаимодействует большая часть элементов биосферы: вода и воздух, климатические и физико-химические факторы и, наконец, живые организмы, участвующие в формировании почвы. Она играет важную роль в жизни тех организмов, которые тесно связаны с ней. Если бы на Земле не было жизни, то она имела бы «почву», воздух и воду, которые радикально отличались от тех, что существуют сейчас. Следовательно, почва, это не только фактор среды, но и продукт жизнедеятельности живых организмов. Важнейшее свойство почвы - способность обеспечивать условия для продуцирования растениями органического вещества. Ее плодородие обусловлено всей совокупностью свойств почвы. Почвенный покров является биологическим адсорбентом и нейтрализатором загрязнений. Обитающие в почве микроорганизмы играют важнейшую роль в минерализации остатков органических веществ, поддержании самоочищающей способности биосферы, обеспечении круговорота веществ и потоков энергии в природе. Сохранение почвенного покрова Земли - необходимое условие обеспечения и поддержания экологического равновесия в биосфере.

В эволюции почв отмечается несколько стадий. Молодые почвы являются результатом постепенного выветривания материнской породы. Процесс эволюции почв заканчивается, когда возникает равновесное состояние почвы с растительностью и климатом. Это климаксные почвы, покрытые климаксными растительными сообществами. Достаточно только одному фактору, влияющему на равновесие, измениться, как возобновляется процесс эволюции почвы. Нередко в нарушении равновесного состояния почвы повинен человек, когда он изменяет, например, растительный покров. В тропиках вырубка леса часто ведет к катастрофическим последствиям для почвы, которая очень быстро минерализуется и превращается в настоящий панцирь. В районах с умеренным климатом почвы изменяются менее резко, так как в более благоприятных климатических условиях гумус разрушается и накапливается значительно медленнее.

Свойства почвы в разных районах земного шара сильно варьируют, что, в свою очередь, влияет на распространение различных типов растительности. Различия в свойствах почвы определяются главным образом пятью факторами: климатом, растительностью, рельефом местности, составом материнской породы и ее возрастом.

4.1. Классификация почв

В рамках этой книги мы не будем приводить описания встречающихся типов почв. Просто уточним, что различают три категории почв, названных почвоведами зональными, интразональными и азональными. На эволюцию почв первой категории климатические факторы и растительность повлияли настолько, что они почти освободились от материнской породы. Эволюция почв второй категории зависит от одного ведущего фактора, часто от подстилающей породы. В дельте Роны, например, некоторые типы интразональных почв (солонец, щелочные почвы и т. д.), располагающиеся внутри зональных почв, создаются под влиянием процесса засоления. Наконец, азональные почвы - это почвы недавних аллювиальных или моренных наносов. Они состоят из более или менее крупных обломков материнской породы и иногда покрыты растительностью; большая их часть будет изменяться в течение последующих тысячелетий.

Зональные почвы, представляющие собой большинство почв на поверхности Земли, распределение которых довольно близко совпадает с распределением биомов, характеризуются наличием чередующихся горизонтов.

В зависимости от взаиморасположения твердых минеральных и органических компонентов почвы и степени заполнения пор в ней воздухом или водой различают те или иные структуры почвы. Они определяются величиной зерен, содержанием органического вещества, формой нахождения гумуса, деятельностью почвенных организмов, температурой и влажностью почвы. Структура почвенного комочка представлена на рис. 4.1.

Различают следующие структурные типы почвы:

- *Сыпучая* - все частицы почвы, минеральные и гумусовые, располагаются обособленно друг от друга.
- *Агрегатная* (связная) - отдельные частички почвы образуют тесно связанный агрегат с плотнейшей упаковкой, не проницаемой для воды, воздуха и корней растений.
- *Трещиноватая* - преимущественно тонкодисперсные частички сцепляются в плотную массу; образуется в условиях, когда увлажнение и высыхание, замерзание и оттаивание, разбухание и усадка почвы быстро сменяют друг друга.
- *Комковатая* - минеральные и органические частицы почвы, рыхло прилегающие одна к другой, образуют комочки. Внутри комочков и между ними сохраняются поры, заполненные воздухом или водой. Такой комочек возникает только после того, как частицы почвы, пройдя через пищеварительную систему дождевого червя или другого почвенного животного, склеиваются слизистыми веществами, придающими комочкам устойчивость против дождя и ветра.

Почва состоит из твердой, жидкой, газообразной и живой частей (рис. 4.1).

Твердая часть – это минеральные и органические частицы. Они со-

ставляют от 80 до 98% почвенной массы и состоят из песка, глины и илистых частиц, оставшихся от материнских пород в результате почвообразовательного процесса. Соотношение этих частиц характеризует механический состав почвы.

Жидкая часть почвы, или почвенный раствор, - вода с растворенными в ней органическими и минеральными соединениями. Воды в почве содержится от долей процента до 60%. Жидкая часть участвует в снабжении растений водой и растворенными в ней элементами питания.

Газообразная часть почвы заполняет поры, не занятые водой. Почвенный воздух содержит углекислый газ, кислород, метан, летучие органические соединения и другие вещества.

Живая часть почвы состоит из почвенных микроорганизмов (бактерии, грибы, водоросли), представителей беспозвоночных животных (простейшие, черви, моллюски, насекомые и их личинки), различных видов роющих позвоночных, а также растений с их корневой системой. Наиболее заселенными являются верхние слои почвы и околокорневое пространство.

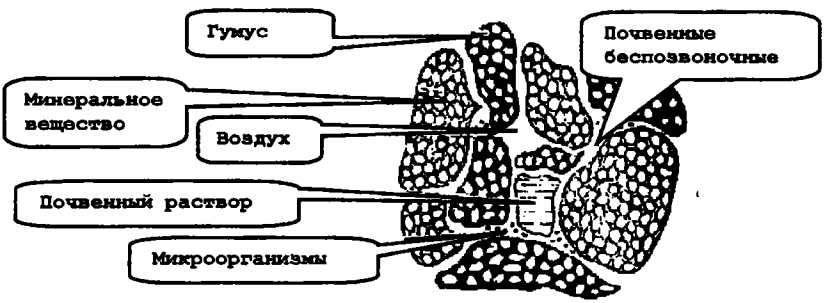

Рис. 4.1. Структура почвы

К основным свойствам почвы, оказывающим влияние на жизненные процессы организмов, относятся ее физическая структура, рельеф местности, глубина, ее гранулометрический и химический состав и циркулирующие в ней вещества - газы, вода, органические и минеральные вещества.

4.2. Свойства почв

Механический состав - относительное содержание в ней частиц различной крупности. Почвы, состоящие из очень мелких минеральных частиц, обладают высокой поглотительной способностью в отношении различных химических элементов и способностью к водоудержанию, но очень плохими воздушно - температурными свойствами. Гранулометрический состав почвы во многом определяет характер и видовой состав заселяющих ее растений.

Температурный режим - во многом определяет активность всех процессов, протекающих в почве. Например, суточные миграции почвенных животных, обусловленные различиями ночных и дневных температур, во многом способствуют перемешиванию почвенных слоев.

многом способствуют перемешиванию почвенных слоев.

Влажность - свойство почвы, зависящее от осадков грунтовых вод и ее физико - химических особенностей. На рис. 4.2 приведены значения влажности почв в зависимости от ее типа и гранулометрического состава. В почвах, состоящих из мелких частиц, суммарная поверхность механических элементов относительно велика и соответственно большая доля почвенной влаги. Если же почвенные частицы крупнее, то суммарная площадь их поверхности меньше и связанной воды в них больше, но влагоемкость ниже. Вода наиболее доступна растениям в тех почвах, частицы которых по величине занимают промежуточное положение между песчаными и глинистыми частицами (рис. 4.2).Такие почвы называют суглинистыми. Организмы, жизнь которых связана с почвенным покровом, весьма чувствительны к уровню его влажности.

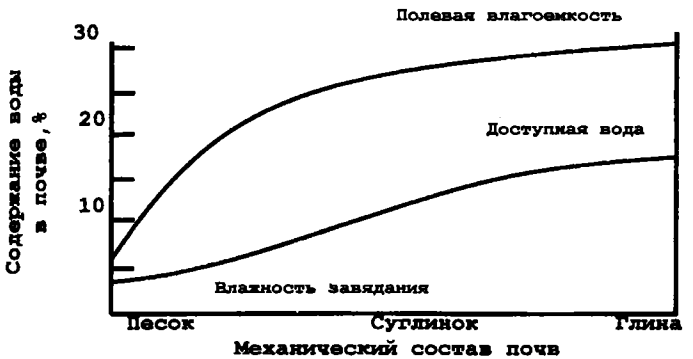

Рис. 4.2. Содержание воды в почве в зависимости от типа почвы и ее механического состава

Почвенный воздух. Градиент кислорода в почвах направлен из верхних слоев вглубь, а для углекислого газа, содержание которого значительно выше, чем в воздухе (достигает 10%), - наоборот. Содержание основных газов в почве определяется главным образом гранулометрическим составом, водным режимом. На концентрацию газов человеческая деятельность оказывает наибольшее влияние.

Химический состав почв. Почва содержит различные химические элементы. Одни из них необходимы растениям в больших количествах (азот, фосфор, калий, кальций, сера, железо и др.), другие требуются в малых количествах (бор, марганец, молибден, цинк и др.). В состав почв входят как необходимые для жизни растений и животных ионы, так и токсичные вещества. Химический состав почвы оказывает существенное влияние на животное и микробное население почвы, но еще большее на растения, являясь источником их питания и обеспечения необходимыми неорганиче-

скими веществами. Выбросы в атмосферу и последующее оседание на почве различных химических элементов в большом количестве приводят к нарушению химического равновесия и, как правило, к деградации экосистем.

Химизм почвы определяет ее плодородие. В зависимости от состава и насыщения питательными веществами различают несколько групп произрастающих на этих почвах растений.

4.3. Структура почвы

Любой, кто когда-либо копал яму, мог заметить, что цвет почвы на поверхности отличается от цвета почвы на глубине нескольких десятков сантиметров; еще глубже можно отметить изменение характерных признаков почвы: цвета, плотности, структуры и т. д. Слой с одинаковыми признаками представляет собой горизонт.

Почва состоит из хорошо выраженных трех слоев, называемых почвенными горизонтами (рис. 4.3). *Почвенные горизонты* - это зоны однородных почв, залегающие примерно параллельно ее поверхности.

Верхний - перегнойно-аккумулятивный горизонт, темно-окрашенный, богатый гумусом, в нем располагается большая часть корней растений. Избыток или недостаток гумуса определяет плодородие почвы, так как с его помощью осуществляется целая серия сложных обменных процессов, в которых участвуют не только кислород, азот, углерод и вода - о них шла речь в предыдущих разделах, - но и различные минеральные соли, присутствующие в почве. Гумус характеризуется способностью поглощать различные элементы и таким образом создавать условия для произрастания не только естественной растительности, но и культивируемых растений. В районах с умеренным климатом количество листвы или остатков растений на поверхности Земли, а следовательно, и количество гумуса изменяется в зависимости от видов растительности, в частности в лесах. Так, толщина слоя остатков растений, разложившихся полностью или частично (рис. 4.3), равна приблизительно 1 - 2 см в хвойных лесах на севере и примерно 10 см в лиственных лесах. Во влажных тропических районах, несмотря на то, что леса там намного гуще, чем в наших районах, слой неразложившихся остатков растительности весьма мал. Это происходит вследствие большой скорости процессов разложения, которые полностью сжигают гумус. Этот горизонт почвоведы разделяют на следующие слои: А0 – главным образом мертвая органическая подстилка, в нем обитает большинство почвенных организмов; А1 - гумусовый горизонт, состоящий из частично разложившегося органического материала, перемешанного с минеральными компонентами почвы; А2 – в этом слое сосредоточены корни растений, в нем происходит усиленное вымывание минеральных элементов из почвы.

Средний - иллювиальный горизонт (В), содержащий мало органического материала и очень сходный по химическому составу с подстилаю-

щей породой. Здесь происходит накопление минерального вещества, вымываемого из лежащего выше горизонта А2.

Нижний горизонт (С) – главным образом слабо выветренный материал, сходный с материнской породой.

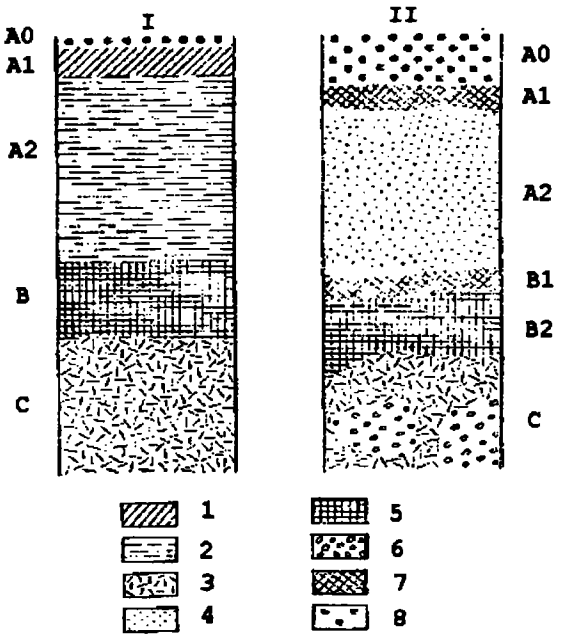

Рис. 4.3. Профиль почвы: I - элювиальной, II - гумусо-железистого подзола;
1 - активный гумусовый горизонт; 2 - выщелоченный илистый горизонт; 3 - породы в стадии выветривания; 4 – подзолистый горизонт; 5 - глина, содержащая трехвалентное железо; 6 - кремнистая порода, невыветренная; 7 - особый гумусовый горизонт; 8 - гумус

Характеристики каждого горизонта изменяются в зависимости от типа почвы. Все горизонты имеют общие черты и представляют собой смесь органических и минеральных элементов. Первые обычно в небольшом количестве содержат частицы с более или менее организованной структурой, а также коллоидные частицы, образованные почвенными микроорганизмами. Это составные части гумуса, играющие в горизонтах А главную роль. Вторые также подразделяются на две части: невыветренные обломочные минералы и продукты выветривания, составляющие тонкую фракцию почвы. Химические составные части и минеральные коллоиды участвуют в очень сложных реакциях. Они также участвуют в деятельности почвенных микроорганизмов. К простому окислению серы или амми-

ачного азота или же фиксации азота из воздуха следует добавить действие энзимов, истинных почвенных витаминов.

Почва является как бы живым организмом, внутри которого осуществляются процессы синтеза, биосинтеза, протекают крайне разнообразные обменные химические реакции. Для того чтобы поддерживать почву в хорошем состоянии, необходимо знать природу обменных процессов всех ее составляющих.

4.4. Типы почв

Различные типы почв характеризуются определенными комбинациями почвенных горизонтов. В основе названий типов часто лежит какое-либо свойство, бросающееся в глаза. Обычно это цвет. Иногда типы почв называют по ландшафту, которому они свойственны.

1. Черноземы. Состоят лишь из горизонта А и подстилающего горизонта С. Под верхним слоем, часто метровой толщины, весьма богатой органическим веществом (отсюда - цвет), обычно залегает лёсс - горизонт С. Лёсс служит здесь исходным почвообразующим материалом. Черноземы - очень плодородные почвы, характерные для степного климата с сухим летним сезоном. Они широко распространены в России и Северной Америке, но в Германии, например, их нет.

2. Буроземы. Имеют четко выраженный АВС - профили, с постепенными переходами между почвенными горизонтами. Буроземы - характерные для Центральной Европы почвы умеренного климата с лиственными лесами. Образуются на самых различных материнских породах.

3. Сероземы, или подзолы. В своем крайнем выражении подзолистые почвы часто возникают под влажными еловыми и смешанными лесами, преимущественно на кислых исходных породах, для сельскохозяйственного использования малопригодны. Над выщелоченным и осветленным горизонтом А располагается подстилка из кислого, не вполне разложенного гумусового материала. Горизонт В обычно сильно осветлен и имеет песчанистый состав как результат вымывания сильными кислотами глинистых минералов и гумусовых частиц ниже по профилю. Под ним залегает часто сильно уплотненный слой, который, затвердевая, превращается в сильно ожелезненные плотные пески и песчаники.

4. Глеевые почвы. Эти почвы формируются под воздействием грунтовых вод. Ниже уровня грунтовых вод они имеют серый, до черного, цвет (ограниченный доступ воздуха - восстановительные условия), а выше этого уровня в почвах появляются красные полосы (зона окисления).

5. Псевдоглеи. Тип почв, сформировавшийся под воздействием подпруженных вод. В области подпора грунтовых или временно подпруженных почвенных вод для них характерен горизонт с зеленоватыми и ржавобурыми пятнами.

4.5. Земельные ресурсы: рациональное использование и охрана

Земля отличается от всех других планет наличием на ней почвы. Возможно, что она отличается этим от всей вообще Вселенной. Тончай-

ший слой земли, облегая даже не всю сушу, а только часть ее, составляет ничтожные доли процента от массы и объема Земли. Но именно эти ничтожные доли - толщина почвы в среднем составляет 20 см - взаимодействуют с солнцем таким образом, что определяют существование человечества и всей природы.

Начиная с седьмого тысячелетия до нашей эры почва - основа сельскохозяйственного производства, ценнейшее богатство человечества.

Почва, растительный и животный мир относятся к исчерпаемым, но возобновляемым природным ресурсам. Однако вряд ли можно согласиться с отнесением почвы и растительности к одной группе ресурсов. Для возобновления вырубленного леса, например, требуются десятилетия, а для возобновления почвы столетия. По существу почва является не возобновляемым природным ресурсом. Мы можем соответствующими мелиоративными мероприятиями повысить урожай культур на почве, у которой оказался частично или полностью потерянным верхний слой, но восстановить естественную первозданную почву невозможно, так как она сформировалась в течение многих тысячелетий в условиях, уже неповторимых. Вместе с тем существенное отличие почвы от других, невозобновляемых, природных ресурсов (нефть, каменный уголь и другие богатства недр) состоит в том, что при правильном ее использовании она может не только не стареть, не изнашиваться, а даже улучшаться, повышать свое плодородие. Таким образом, почва - это особый природный ресурс: он и не возобновим и в то же время при правильном использовании - неисчерпаем.

Почвы, используемые в сельском хозяйстве под пашню, для выращивания сельскохозяйственных культур, характеризуются разным плодородием - способностью обеспечивать растения водой, элементами питания, воздухом и этим создавать возможность получения урожая сельскохозяйственных культур. Одним из важных показателей уровня плодородия почв являются мощность гумусового слоя и содержание гумуса в почве. Гумус склеивает минеральные элементарные частицы в комочки, придает почве агрономически благоприятную структуру, при которой создается оптимальный режим для обеспечения растений водой и воздухом и питательными элементами. Так, почвы Озерского района Московской области относятся к высокому уровню плодородия, в разных их типах содержится гумуса: в дерново-подзолистых - 2,5%, серых лесных - 3%, черноземах - 7%.

Различают два вида плодородия почв: естественное и эффективное. Естественное плодородие определяется содержанием гумуса, валовыми запасами питательных веществ, естественным водным, воздушным и тепловым режимами. Эффективное плодородие определяется по полученному урожаю, но не только за счет естественных свойств почв, но и за счет хозяйственной деятельности человека (известкование кислых почв, внесение удобрений, мелиоративные мероприятия и т. д.).

Человек, обрабатывая землю, все больше изменяет плодородные свойства почв. При этом своим воздействием он может повышать и пони-

жать плодородие почв, увеличивать или уменьшать проявление эрозии, дефляции, засоления. Более 2300 лет назад ученик Аристотеля Теофраст писал: «Бобы вообще не обременительны для земли и даже, по-видимому, удобряют ее...». При интенсивном использовании земли необходимо не только думать о том, как получить возможно больший урожай, но и об увеличении плодородия почвы.

4.6. Структура земельного фонда мира, материков и России

Мировой земельный фонд равный примерно 14,9 млрд. га, складывается из земельных ресурсов всех стран, к которым обычно приплюсовывается и площадь Антарктиды. Земельные ресурсы без крупных водных тел представляют собой сухопутные пространства самого различного характера. К ним относятся как территории с хорошо развитым почвенным покровом, так и различные природные и антропогенные пустоши, а также земли под самыми различными антропогенными объектами.

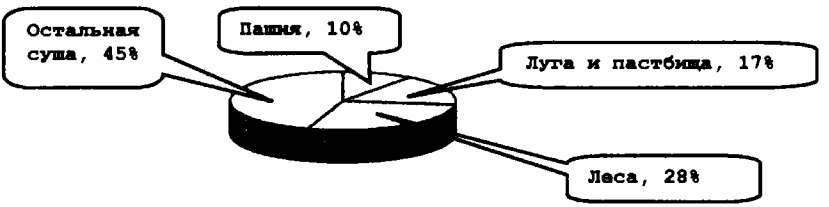

Рис. 4.4. Баланс земельных ресурсов планеты

Баланс земельных ресурсов планеты выглядит следующим образом. Пашня занимает всего 10% территории, луга и пастбища - 17% (рис. 4.4). Остальные 73% почв не используются в сельском хозяйстве. Мировая динамика земельного фонда, выраженная количественно, приведена в табл. 4.1. За период 1961—1983 гг. площадь пашни увеличилась примерно на 0,08 млрд. га, а пастбищ на 0,12 млрд. га. Сократилась облесенность суши на 0,1 млрд. га и на столько же площадь прочих земель.

Несмотря на огромные усилия, прирост площади возделываемых земель не был значителен, и поэтому обеспеченность ими человечества снизилась с 0,45 до 0,31 га/чел. Обеспеченность пастбищными угодьями упала с 0,98 до 0,67 га/чел, а лесными землями - с 1,35 до 0,87 га/чел, лесистость суши уменьшилась на 4,5 млн. га/год. Различные страны существенно отличаются по обеспеченности различными видами земельных ресурсов. Около 1/15 площади возделываемых земель находится под плантациями; 1/7 площади земель под пашней и плантациями орошается. В составе лесных земель примерно 50% площади - это небольшие открытые пространства без древесной растительности. Среди прочих земель 150—200 млн. га, или 1,1—1,5% всего земельного фонда мира, находятся под городской застройкой, линейными сооружениями и горными разработка-

ми. Это так называемые земли специального использования.

Таблица 4.1

Обеспеченность земельными ресурсами населения Земли

Показатели	Годы				
	1961	1970	1980	1981	1983
Население, млн чел.	3100	3697	4432	4513	4686
Плотность, чел./км^2	24	28	34	35	36
Обеспеченность, га/чел.	4,22	3,54	2,9	2,85	2,79
Сухопутная территория, млрд га	13,07	13,07	13,07	13,07	13,07
Пашня и плантации, %	10,6	10,8	11,1	11,2	11,2
млрд га	1,39	1,41	1,45	1,47	1,47
Пастбища, %	23,3	23,9	23,9	24,3	24,2
млрд га	3,04	3,13	3,12	3,17	3,16
Леса и кустарники, %	31,9	32,2	31.3	31,3	31,1
млрд га	4,17	4,21	4,09	4,09	4,07
Прочие земли, %	34,2	33,1	33,7	33,2	33,5
млрд га	4,47	4,32	4,41	4,34	4,37

Пахотные угодья и плантации занимают самые удобные в орографическом отношении места. Они приурочены к равнинам, пологим увалам, межгорным котловинам, днищам долин, к крупным конусам выноса. В горах земледелие ведется в ограниченных масштабах. Северная граница устойчивого земледелия находится в полосе с суммой активных температур 1400—1600°С. В Европе эта граница слегка заходит к северу за шестидесятую параллель. С продвижением в пределы азиатской части России она постепенно опускается к югу до 58° с. ш., в Средней Сибири до 53° с. ш. и южнее на Дальнем Востоке. В Канаде северная граница существующих районов устойчивого полеводства примерно совпадает с 56° с. ш. Годовая сумма осадков, ограничивающая распространение неорошаемых полей в умеренном поясе, считается равной 200 - 300 мм. С севера на юг с улучшением гидротермических и почвенных условий в пределах равнин зарубежной Европы, бывшего СССР, Северной Америки увеличивается их распаханность. В России ареал основных пахотных угодий как бы образует клин, сужающийся с переходом из европейской части страны в азиатскую, с протяженной довольно узкой границей вдоль юга в пределах Восточно-Сибирского и Дальневосточного регионов. Наблюдается закономерное уменьшение площади слабоокультуренных земельных угодий (леса, естественные кормовые угодья) в направлении с юга и с севера к лесостепной и степной зонам. Наиболее хорошо эта закономерность прослеживается в европейской части России. Так, в тундровой, лесотундровой и северотаежных зонах Русской равнины занято под пашней не более 0,1% от общей территории, в среднетаежной зоне - от 2 до 5%, в южно-таежной - 25%, а в лесостепной и степной зонах - 60%. Территория России подразделена на

ряд крупных сельскохозяйственных районов. Среди них такие, как Нечерноземье, Центрально-Черноземная зона, Урал, Сибирь и Дальний Восток.

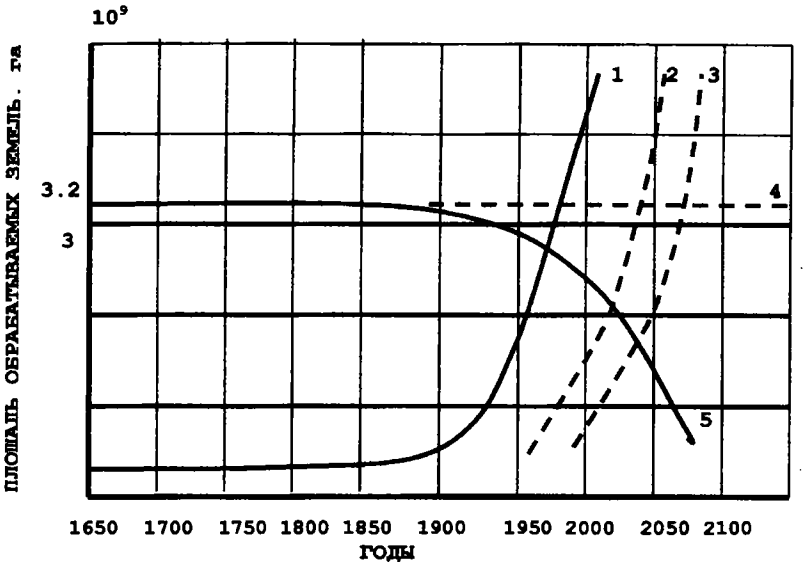

Рис. 4.5. Перспективы удовлетворения в обрабатываемых землях и реальные земли, которые можно использовать под сельскохозяйственные культуры:
1 - площадь обрабатываемых земель, необходимая для сохранения современного уровня продуктивности; 2 и 3 - площадь обрабатываемых земель, необходимая для удвоения и учетверения продуктивности соответственно; 4 - площадь земель, пригодных для сельскохозяйственных культур; 5 - теоретическая площадь пахотных земель в мире

В 90-х годах XX в. в Северной Америке на душу населения приходилось 1,62 га пахотной земли, в России - 0,88 , Западной Европе - 0,2, Западной Азии - 0,2, Восточной Азии - 0,32 га.

Имеются расчетные данные, показывающие, что в среднем на каждого нового человека планеты при существующем уровне урожайности сельскохозяйственных культур требуется 0,4 - 0,5 га для производства пищи и 0,1 га территории под жилище, дороги и другие несельскохозяйственные нужды. В связи с продолжающимся ростом населения на Земле будут возрастать площади, отводимые под пашню, если не будет роста урожайности сельскохозяйственных культур (рис. 4.5).

По данным Международной организации по вопросам продовольствия (ФАО), общая площадь потенциально пригодных почв для земледелия в мире составляет около 3,2 млрд. га. Сейчас обрабатывается около 1,5 млрд. га. Однако для включения в сельскохозяйственное производство это-

го резерва потребуются колоссальнейшие вложения труда и средств (рис. 4.5).

В категорию прочих земель включаются бесплодные пустыни, неиспользуемые продуктивные земли и земли специального назначения, т. е. находящиеся под застройкой, коммуникациями, аэропортами, горными разработками и т. д. Например, за период с 1970 по 1980 г. мировая площадь прочих земель возросла с 4,3 до 4,4 млрд га, или несколько более чем на 2%. Тенденция увеличения площади прочих земель сохраняется и в настоящее время, так как она неразрывно связана с такими процессами, как рост численности населения Земли, прогрессирующая урбанизация и увеличение производительных сил. Площадь, занимаемая городами мира, в конце 60-х годов XX в. достигала около 40 млн. га. По статистике ООН, в 1980 г, численность горожан достигла 1,8 млрд. человек, а к 2000 г. она достигла 3,2 млрд. Исходя из этих цифр, урбанизированные территории в 2000 году превысили 100 млн. га. В нашей стране в середине 70-х гг XX в. площадь городов составляла около 10 млн. га. Земли под коммуникациями по своим размерам лишь немного уступают городским. Земли под горными разработками также ощутимо влияют на ресурсы продуктивных угодий. В России и странах СНГ площадь нарушенных земель во второй половине 90-х годов XX века составляла около 2 млн. га.

Глава 5

Антропогенное загрязнение биосферы

За последние сто лет произошло резкое увеличение численности населения Земли и, как следствие этого, выросло промышленное производство, производство энергии и продуктов питания. В результате чего потоки вещества и энергии, обусловленные деятельностью человека, сопровождающиеся загрязнением биосферы, стали составлять заметную долю от общей величины биогенного круговорота (рис. 5.1).

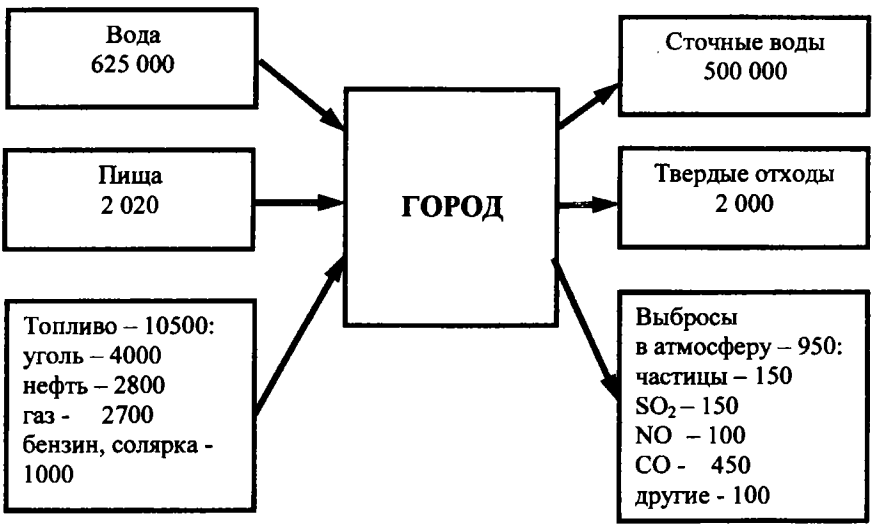

Рис.5.1. Массообмен, т/сут, промышленного города с населением в один миллион человек

Особенность природных явлений и ресурсных циклов состоит в том, что они не могут оказывать отрицательного воздействия на природу даже в отдаленной перспективе.

Для того чтобы создать необходимую продукцию, получить энергию, сырье, человек находит и добывает природные ресурсы, перевозит их к местам переработки, производит из них предметы, которые в итоге используются или в виде средств производства, или в виде готовых изделий (здания, станки, машины, предметы быта и культуры).

Человек интенсивно трансформирует процессы круговорота всех химических элементов не только на уровне экосистем, но и на уровне биосферы и планетарном уровне в целом. Таким образом, человек вовлекает природные ресурсы в ресурсные циклы, которые называют техногенными.

Природно-техногенный ресурсный цикл состоит в обмене веществом, энергией и информацией между природой и обществом. На каждом его этапе (добыча, заготовка, транспортировка, переработка) неизбежны потери вследствие особенностей технологии и других причин и возвращение вторичного сырья в хозяйственный оборот или в виде неиспользуемых отходов в окружающую среду.

Источники загрязнения весьма разнообразны: среди них не только промышленные предприятия и теплоэнергетический комплекс, но и бытовые отходы, отходы животноводства, транспорта, а также химические вещества, намеренно вводимые человеком в экосистемы для защиты полезных продуцентов от вредителей, болезней и сорняков. Среди ингредиентов загрязнения тысячи химических соединений, особенно металлы и оксиды, токсические вещества, аэрозоли. Разные источники выбросов могут быть одинаковыми по составу и характеру загрязняющих веществ. Так, углеводороды поступают в атмосферу и при сжигании топлива, и от нефтеперерабатывающей, и от газодобывающей промышленности.

Загрязнение - это не только выброс в природную среду вредных веществ. При отводе воды в естественные водоемы от систем охлаждения в них изменяется естественный режим температуры, что представляет собой тепловое загрязнение. Причем тепловое загрязнение это не обязательно увеличение температуры воды: возможно и ее понижение. Важно то, что меняется режим температуры. В качестве загрязнения можно рассматривать и отклонение от оптимальных параметров уровней шума и освещенности.

В некоторых случаях загрязнение принимает самые неожиданные формы. В свое время создание высокоэффективного ядохимиката для борьбы с вредителями растений дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) было отмечено Нобелевской премией. Его мировое производство в течение почти 30 лет достигало ежегодно 100 тыс.т.; применение его спасало урожаи многих сельскохозяйственных культур, а также лесные насаждения. Препараты ДДТ создавали помехи в экосистемах для экономически вредных насекомых и животных, защищали урожаи, но сам ДДТ и некоторые его примеси в препаратах, помимо того, что они токсичны для теплокровных животных, способны прогрессивно накапливаться в звеньях пищевых цепей. Есть данные, что при попадании препаратов, близких к ДДТ, в воду в дозировке 0,014 части на миллион его содержание в планктоне составляет уже 5,0 частей на миллион, а в мышцах рыб-221 часть, т.е. возрастает более чем в 10 тыс. раз.

Источником комплекса помех являются шахтные отвалы и терриконы, в которых идут сложные физико-химические процессы с выделением вредных веществ в атмосферу, воду и почву.

Опасным источником загрязнения водоемов в США оказалась спортивная охота, и даже велась борьба за запрещение использования свинцовой дроби, так как водоплавающие птицы принимают ее за гравий и семена растений. Считается, что ежегодно в США от отравления свинцом погибают 2,4 млн водоплавающих птиц (примерно 2,5 % от всех перелетных), поскольку за охотничий сезон на дне водоемов остается около 3 тыс. т свинцовой дроби.

С экологических позиций спортивная охота на свободноживущих млекопитающих и птиц представляет собой активную форму воздействия на популяции, которую можно также рассматривать как комплекс помех, а значит, и загрязнения. Фактор беспокойства составляют шум, запахи, нарушение оптимального баланса популяций, их численности и плотности, возрастной и половой структуры. Например, для популяции дикой утки одинаковые последствия наступают и в случаях изъятия большего числа особей, чем это возможно для ее полноценного воспроизводства (перепромысел), и в случаях, если тростниковые заросли (места их гнездования) будут уничтожены, или если местообитания утки и тростника окажутся загрязненными промышленными стоками и если яйца в гнездах начнут уничтожаться хищниками.

Аналогично и для популяции осетровых рыб одинаковые последствия наступят в результате перепромысла, загрязнения отходами и перекрывания русла реки плотиной, не оборудованной рыбоходом. Все эти совершенно различные по происхождению и природе воздействия факторы имеют объединяющий их признак: они являются помехами в экологических системах и популяциях и ведут к одному и тому же результату - снижению продуктивности популяции, экосистемы, а далее и к их распаду.

Загрязнение среды - сложный многообразный процесс. Отходы производств оказываются обычно там, где их раньше не было. Многие из них химически активны и способны взаимодействовать с молекулами, входящими в состав тканей живого организма, или активно окисляться на воздухе. Понятно, что такие вещества оказываются ядами по отношению ко всему живому.

С экологических позиций загрязнение представляет собой комплекс помех в экосистемах, воздействующих на потоки энергии и информации в пищевых (энергетических) цепях.

Исторически сложилось так, что производство, т.е. превращение продуктов природы в общественно полезную продукцию, представляет собой открытую на входе систему, построенную в соответствии с принципом одноразового использования природных ресурсов, причем с каждым новым циклом воспроизводства данной продукции в него вовлекаются новые природные ре-

сурсы. Эта система открыта и в самом процессе производства, и на выходе - человек выбрасывает на свалки подавляющую часть предметов потребления, утративших свои потребительские свойства в результате физического или морального износа. Такой тип производства может существовать достаточно продолжительное время лишь в малых объемах. С ростом производства оно рано или поздно приходит в противоречие с общим принципом, на котором строится жизнь, - принципом рециркуляции.

Известно, что всякое загрязнение вызывает у природы защитную реакцию, направленную на его нейтрализацию. Эта способность природы долгое время, а часто и в настоящее время эксплуатировалась обществом за счет открытых производственных систем без учета степени воздействия на окружающую природную среду. Из века в век складывалась практика широкого использования способности атмосферы, почвы и гидросферы к самоочищению. Отходы производства и потребления выбрасывались в атмосферу, накапливались в почве и сбрасывались в гидросферу в расчете на то, что все они в итоге будут обезврежены и переработаны самой природой. Полагалось, что независимо от общей массы отходов они незначительны по сравнению с защитными ресурсами природы.

Количество отходов длительное время увеличивалось пропорционально росту производства и населения. Пока в качестве сырья широко использовались вещества растительного и животного происхождения (древесина, лен, хлопок, кожа, жиры и т.д.), образующиеся отходы вовлекались в естественный круговорот вещества, природа обеспечивала самоочищение. Например, загрязненная мылом сточная вода, сброшенная в реки, быстро очищается разлагающими организмами (редуцентами). При сжигании дров в атмосферу выбрасывается диоксид углерода (CO_2), который усваивается растениями в процессе фотосинтеза. Внесенный в почву навоз и другие растительные и животные остатки разлагаются с выделением диоксида углерода и питательных веществ (элементов N, P, K), используемых растениями в процессе фотосинтеза. Микроорганизмы, существующие в естественной природной среде, в процессе биогеохимического цикла миграции вещества способны разлагать отходы естественного происхождения на элементарные химические соединения.

Иначе происходит превращение остатков и отходов веществ синтетического и минерального происхождения. Например, отходы синтетических моющих средств (стиральных порошков), не усваиваемые микроорганизмами, накапливаются в водоемах, куда они поступают вместе со сточными водами, загрязняют их. При сжигании нефтяного топлива (мазута) и каменного угля в атмосферу вместе с дымовыми газами, содержащими оксиды углерода (CO, CO_2), выбрасывается оксид серы (SO_2), который, взаимодействуя с влагой и

кислородом воздуха, образует серную кислоту - возникают так называемые кислотные дожди.

Значительная часть химических веществ, выбрасываемых в биосферу, токсична, многие из них обладают канцерогенными и мутагенными свойствами.

Кроме первичных загрязнителей, поступающих в природу от предприятий, наблюдается эффект сенсибилизации - усиление техногенного воздействия при взаимодействии химических сбросов, выбросов или физических полей от разных предприятий. Некоторые вредные вещества промышленных отходов, которые попадают в биосферу, не нейтрализуются в биологическом круговороте и пребывают в нем, не распадаясь годами. Они нарушают природное равновесие, газовый, водный и геохимический режимы биосферы.

Таким образом, экстенсивное природопользование и открытые системы производства привели к возникновению громадного количества твердых, жидких и газообразных отходов, истощению большинства невозобновляющихся природных ресурсов, разрушению и загрязнению окружающей среды, экологическому кризису.

Для коренного изменения сложившейся ситуации необходимо коренным образом менять принципы природопользования, которые можно сформулировать следующим образом.

- Первый заключается в том, что вид продукции и соответствующий производственный процесс необходимо подбирать к сырью для его комплексного использования.
- Второй принцип состоит в необходимости разработки последовательной цепочки производственных процессов, в которой отходы одного производства служили бы сырьем для другого. Реализация второго принципа - по сути дела, переход от открытой системы связей производства и окружающей среды к рециркуляционной системе.

5.1. Классификация загрязнений окружающей среды

Под загрязнением окружающей среды понимают любое внесение в какую-либо среду новых, не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии со снижением продуктивности или разрушением экосистемы.

По площади воздействия все загрязнения подразделяются на глобальные, региональные и локальные. *Глобальные загрязнения* – фоновые загрязнения, обнаруживаемые в любой точке Земли на значительном удалении от его источника (ДДТ и свинец в яйцах пингвинов в Антарктике). *Региональные загрязнения* – фиксирующиеся на значительных территориях, но охватывающие

всю Землю. *Локальные загрязнения* – загрязнения небольших территорий, расположенных вблизи источников загрязнений (промышленные предприятия, заселенные территории и др.).

Основные причины возникновения всех перечисленных выше загрязнений подразделяют на *природные,* вызванные природными, не редко катастрофическими причинами (рис. 5.2), и *антропогенные,* возникающие в результате деятельности человека.

Рис. 5.2. Классификация природных загрязнений

Естественные загрязнения возникают в результате естественного протекания геологических, биологических и космических процессов.

Катастрофические загрязнения возникают в результате катастрофических природных явлений (извержения вулканов, цунами, подтопление больших площадей и т.д.) и приводят к крайне неблагоприятным последствиям как для окружающей среды, так и для человека.

Случайные загрязнения происходят в результате случайного совпадения нескольких естественных природных процессов.

Антропогенное загрязнение – комплекс разнообразных воздействий человеческого общества на природную среду, приводящих к увеличению уровня содержания вредных веществ, появлению новых химических соединений, частиц и чужеродных предметов, а также других физических и механических воздействий.

Выбросы в окружающую среду классифицируются по агрегатному состоянию и по их массе. По агрегатному состоянию различают газо- и парообразные, жидкие, твердые и смешанные выбросы. По массовому выбросу выделяют шесть групп: менее 0,01, свыше 0,01 1,0; 10; 100; свыше 100 т/сутки.

Объектами загрязнения (акцепторами загрязняющих веществ) служат основные компоненты экосистем: атмосфера, вода, почва, растения, животные и микроорганизмы.

Источники загрязнений окружающей среды подразделяются на сосредоточенные (точечные) и рассредоточенные. К точечным относятся дымовые и вентиляционные трубы, шахты и т п , к рассредоточенным - фонари цехов (их

несколько), ряды близко расположенных труб, открытые склады и т.п. Источники загрязнения могут быть также непрерывного и периодического действия.

По своему происхождению антропогенные загрязнения могут быть механическими, химическими, физическими и биологическими (рис. 5.3).

Рис.5.3. Классификация антропогенных загрязнений

Физические загрязнения связаны с изменением физических параметров среды и подразделяется на типы (рис. 5.4):

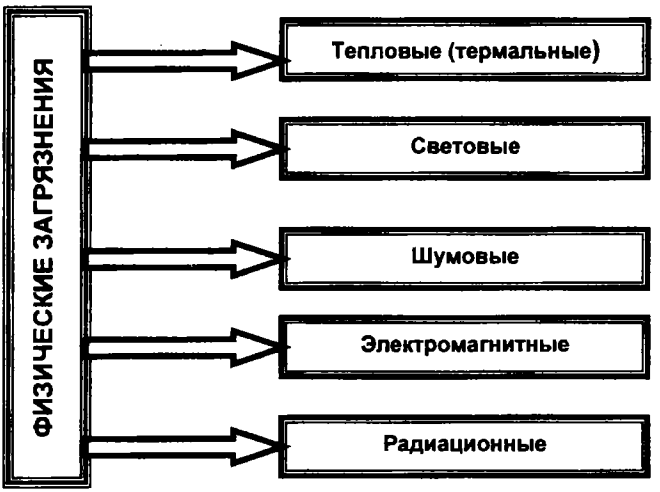

Рис. 5.4. Классификация физических загрязнений

Химические загрязнения связаны с изменением естественных химических свойств среды, превышающим среднемноголетние колебания количества

каких - либо веществ, или появлением в ней химических веществ, ранее отсутствующих. Химические загрязнения могут находиться в газообразном, жидком и твердом состоянии; они поступают в атмосферу, почву и гидросферу и вступают во взаимодействие с окружающей средой. Химические загрязнения подразделяются следующим образом (рис. 5.5).

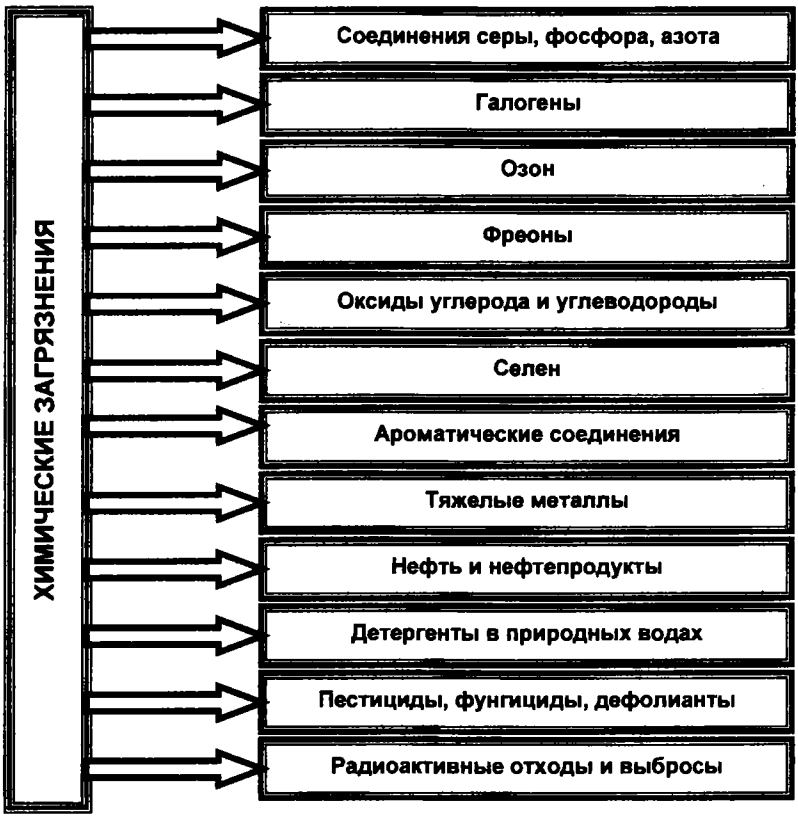

Рис. 5.5. Классификация химических загрязнений

Механические загрязнения - засорение среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие, без физико-химических последствий, напри-

мер запыление атмосферы, твердые частицы и разнообразные предметы в воде и почве (рис. 5.6).

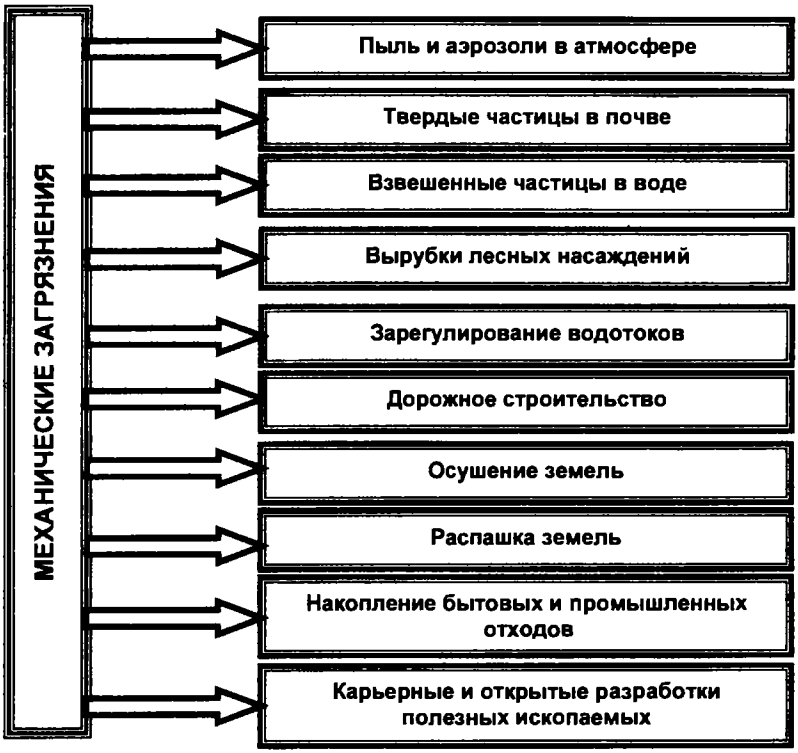

Рис. 5.6. Классификация механических повреждений

Биологические загрязнения-распространение на определенных территориях видов животных, растений, микроорганизмов и биогенных элементов, чуждых данным сообществам и обычно там отсутствующих, наличие перевыпаса и различных отходов жизнедеятельности человека и сельскохозяйственного производства (рис.5.7). Различают антропогенные загрязнители, разрушаемые биологическими процессами и неразрушаемые ими (стойкие). Первые входят в естественные круговороты веществ и поэтому быстро исчезают или подвер-

гаются разрушению биологическими агентами. Вторые не входят в естественные круговороты веществ, а потому разрушаются организмами в пищевых цепях.

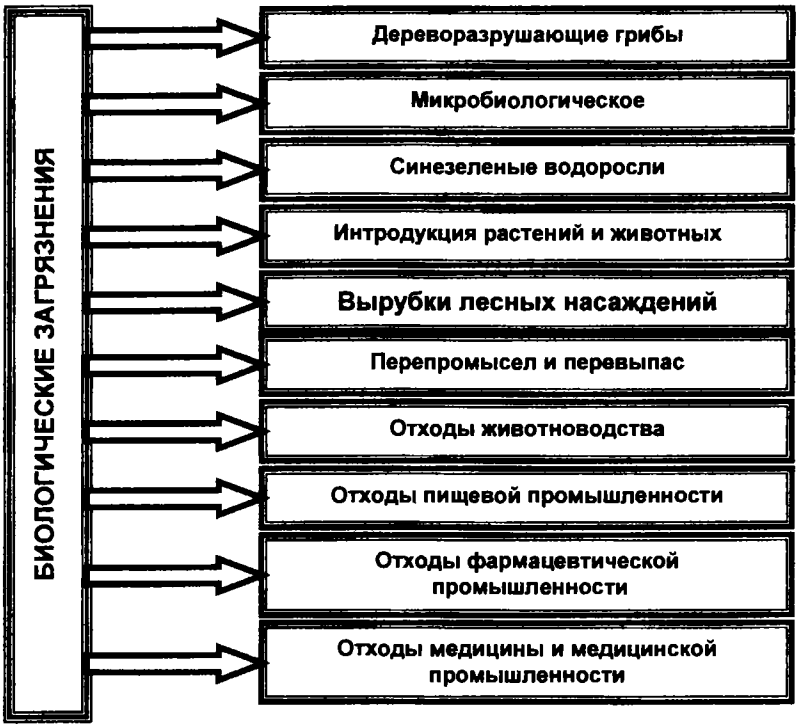

Рис. 5.7. Классификация биологических загрязнений

Отрицательно влияя на окружающую среду, загрязнения, в свою очередь, могут подвергаться определенному воздействию окружающей среды. По этому важному с экологической точки зрения признаку различают стойкие загрязнения и разрушаемые под действием природных физико-биологических процеєсов.

Резюмируя изложенное, можно кратко сформулировать последствия загрязнения следующим образом:

1. Загрязнение среды есть процесс нежелательных потерь вещества, энергии, труда и средств, приложенных человеком к добыче и заготовке сырья и материалов, превращающихся в процессе производства в безвозвратные отходы, рассеиваемые в биосфере.

2. Загрязнение имеет следствием необратимое разрушение как отдельных экологических систем, так и биосферы в целом, включая воздействие на глобальные физико-химические параметры среды.

3. Вследствие загрязнения теряются плодородные земли, снижается продуктивность экологических систем и биосферы в целом.

4. Загрязнение прямо или косвенно ведет к ухудшению физического и морального состояния человека как главной производительной силы общества.

5. Защита окружающей среды от загрязнения - одна из ключевых задач в общей проблеме оптимизации природопользования, сохранения качества среды для настоящего и будущих поколений людей.

5.2. Загрязнение атмосферы

Воздушная оболочка Земли содержит значительное количество различных примесей. По происхождению их разделяют на естественные и искусственные (антропогенные). Основные вещества, загрязняющие атмосферу, делят на две группы – *газообразные и твердые частицы* (табл. 5.1). Газы составляют примерно 90 %. Основную роль в загрязнении атмосферы играет сжигание ископаемого топлива – угля и нефти.

Таблица 5.1

Основные загрязняющие вещества и источники загрязнения [13]

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА	ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ГАЗЫ	
Углекислый газ	Вулканическая деятельность
	Дыхание живых организмов
	Сжигание ископаемого топлива
Оксид углерода	Вулканическая деятельность
	Работа двигателей внутреннего сгорания
Органические соединения	Химическая промышленность
	Сжигание отходов
	Сжигание топлива
Сернистый газ и другие производные серы	Вулканическая деятельность
	Морские бризы
	Бактерии
	Сжигание ископаемого топлива
Производные азота	Бактерии
	Горение
Радиоактивные вещества	Атомные электростанции
	Ядерные взрывы
ЧАСТИЦЫ	
Тяжелые металлы Минеральные соединения	Вулканическая деятельность
	Космическая пыль
	Ветровая эрозия
	Водная пыль
	Промышленное производство
	Работа двигателей внутреннего сгорания
Органические вещества, естественные и синтетические	Лесные пожары
	Химическая промышленность
	Сжигание топлива
	Сжигание отходов
	Сельское хозяйство (пестициды)

5.2.1. Естественное загрязнение атмосферы

Естественное загрязнение атмосферы помимо газообразных веществ включает в себя мельчайшие твердые взвешенные в воздухе частицы ра-

диусом $10^{-4} - 10^{-3}$ см (табл. 5.1). *Космическая пыль* образуется от сгорания метеоритов при их прохождении в атмосфере. Ежегодно ее выпадает на Землю 2 - 5 млн. т. *Природная пыль* образуется в результате разрушения и выветривания горных пород и почвы, вулканических извержений, пожаров, испарения с поверхности морей. Одним из источников пыли являются безводные пустыни и степи. Кроме того, она образуется аэропланктоном – бактериями, спорами растений, продуктами разложения, брожения и разложения отмерших растений и животных. Во время массового цветения растений в воздухе находится значительное количество пыльцы. Насыщение воздуха частицами растительного происхождения может быть причиной аллергических заболеваний. Однако в целом атмосферная пыль имеет большое значение для процессов, происходящих на Земле. Она способствует конденсации водяных паров, а следовательно, и образованию осадков. Кроме того, она поглощает солнечную радиацию и защищает организмы от губительного действия солнечного излучения. Академик В.И. Вернадский отмечал, что атмосферная пыль играет огромную роль в химии планеты. Атмосферный воздух над океаном включает в себя мельчайшие кристаллы солей магния, натрия, калия, кальция, образующиеся в результате высыхания брызг воды.

Биологическое разложение веществ на Земле, в том числе жизнедеятельность почвенных бактерий, ведет к образованию больших количеств сероводорода, аммиака, углеводородов, оксидов азота (N_2O, NO, NO_2), оксида и диоксида углерода. Все они также попадают в атмосферу.

Важным источником поступления в атмосферу разнообразных органических примесей являются прижизненные выделения растений, животных и микроорганизмов, характеризующиеся сложным химическим составом. Организмы выделяют в окружающий воздух разнообразные углеводороды, спирты, органические кислоты, эфиры, альдегиды, кетоны. Часть этих соединений обладает стимулирующим эффектом и успешно используется многими организмами для своих жизненных потребностей. Такие фитогенные химически активные газообразные продукты выделения были названы известным ботаником Н.Г. Холодным атмовитаминами. Однако ряд летучих веществ действует на микроорганизмы губительно. Летучие органические вещества растений, губительно действующие на бактерии, микроскопические грибы, простейшие организмы, называют фитонцидами. Количество таких газообразных выделений возрастает при измельчении или повреждении растительных тканей. Их концентрация в приземном слое обычно невысока, и нет формальных оснований считать их загрязнителями атмосферы в полном смысле этого слова.

Периодически большое количество различных газов и паров поступает в атмосферу из действующих вулканов, гейзеров, геотермальных и других подземных источников. При извержении вулканов выделяются так называемые эруптивные газы, в состав которых входят углекислый газ, сероводород, сернистый газ, соединения фтора, хлора. В спокойном состоя-

нии вулканы выбрасывают фумарольные газы – сернистый, углекислый, сероводород, метан.

Разнообразен состав газовых выделений из гейзеров и геотермальных источников. Они выделяют в атмосферу пары, содержащие углекислый газ, сероводород, метан, аммиак, хлор, фтор.

5.2.2. Искусственное загрязнение атмосферы

Источниками искусственного, или антропогенного, загрязнения атмосферы являются теплоэнергетика, промышленность, нефте- и газопереработка, транспорт, испытания термоядерного оружия и многое другое (табл. 5.1). Каждый из этих источников связан с выделением специфических примесей, состав которых насчитывает десятки тысяч веществ. Однако наиболее обычные загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу в больших количествах, сравнительно немногочисленны. Наиболее распространенные выбросы промышленности - зола, пыль, различного рода соединения химических элементов, радиоактивные газы, аэрозоли и пр. При этом наибольшее загрязнение атмосферного воздуха приходится на долю оксидов углерода, соединений серы и азота, углеводородов и промышленной пыли.

Распределение загрязняющих элементов в зависимости от расстояния от источника загрязнения приведено на рис. 5.8. По мере удаления от источника можно выделить три зоны загрязнения: I – зона переброса факела выбросов с относительно невысоким содержанием вредных веществ; II – зона задымления с максимальным содержанием вредных веществ, она наиболее опасна для биоты; III – зона постепенного снижения уровня загрязнения.

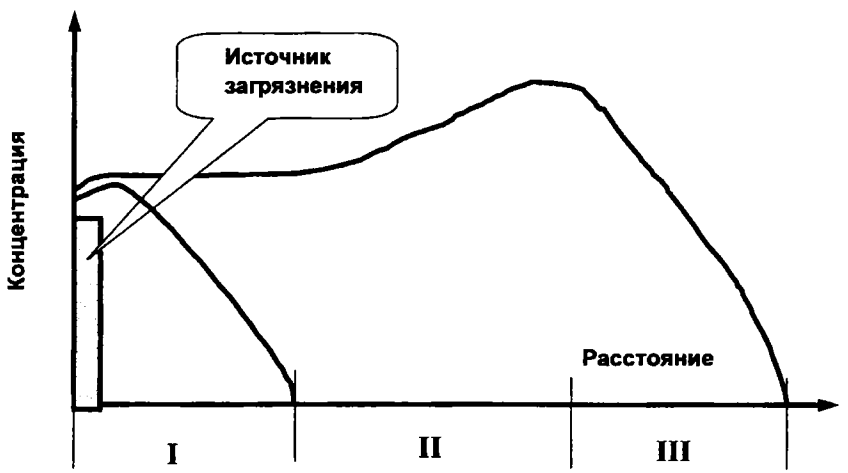

Рис. 5.8. Распределение концентраций вредных веществ в атмосфере под факелом высокого источника выброса

Под действием солнечной радиации в атмосфере протекают различные реакции, в которых участвуют кислород, азот, озон, оксиды азота, пары воды, диоксид углерода, что ведет к образованию вторичных загрязняющих веществ. Этот процесс - результат превращений первичных загрязнителей. Например, кислород может вступать в реакцию с рядом углеводородов и образует при этом формальдегид, альдегиды, пероксиацетиловые нитраты. Поступающий в атмосферу сернистый газ окисляется до серного ангидрида, который активно взаимодействует с водяными парами и образует капельки серной кислоты; при взаимодействии серного ангидрида с газообразным аммиаком образуются кристаллы сульфата аммония.

5.2.3. Основные загрязнители атмосферы и их соединения

Соединения серы поступают в атмосферу в большом количестве в основном при сжигании богатых серой видов горючего, таких как уголь и мазут (табл. 5.1). Будучи рассеянными в атмосфере, эти окислы становятся основной причиной кислотных дождей. Но тем не менее топливо, при сгорании которого образуются окислы серы, необходимо для получения тепла, электричества и энергии, для приведения в действие различных машин.

Не все виды топлива содержат значительные количества серы. В углях некоторых сортов содержится всего 0,5% серы, тогда как в других ее содержание может доходить до 6%. Уголь широко используется в производстве чугуна и стали, но наибольшее его потребление - в тепло- и электроэнергетике. Угли, используемые для получение тепла и электроэнергии, могут в среднем содержать до 2,5% серы, тогда как уголь, используемый в металлургическом производстве, должен содержать гораздо меньше серы.

При сгорании в топках электростанций каждого миллиона тонн угля выбрасывается около 25 тыс. т серы. Разумеется, эта сера выделяется не в элементарной форме, а главным образом в виде сернистого газа - двуокиси серы. Сера также содержится и в сырой нефти, однако ее содержание в ней не превышает 1%. При перегонке нефти большая часть серы из продуктов перегонки, таких как керосин и бензин, удаляется. Содержащие серу отходы сжигаются в процессе перегонки. Проезжая мимо перегонных установок, мы можем увидеть эти сернистые отходы, горящие на вершине высокой металлической трубы. Керосин и бензин дают лишь небольшой вклад в выбросы окислов серы, попадающие в атмосферу.

Нефть, используемая для отопления домов, также содержит сравнительно низкий процент серы, в среднем около 0,25%. При перегонке нефти большая часть серы переходит в мазут - самую тяжелую фракцию перегонки. В нем может содержаться от 0,5 до 5,0% серы, хотя посредством дополнительных процедур перегонки ее содержание в мазуте можно уменьшить. При перегонке малосернистой нефти получается и малосернистый мазут. Мазут используется для отопления жилых домов и различных учреждений. Вплоть до начала семидесятых годов мазут широко применялся в качестве топлива для тепловых электростанций из-за сравнительно низкой цены и малого содержания серы.

Соединения серы попадают в воздух и от очистных и литейных предприятий, а также многих других источников. Десятки миллионов тонн окислов серы выбрасывается в атмосферу металлургическими предприятиями.

В отличие от нефти и угля природный газ практически не содержит серы. С этой точки зрения газ является экологически чистым топливом.

5.2.4. Окисление серы и образование едкого кислотного тумана

При сжигании угля или нефти сера, содержащаяся в них, окисляется. При этом образуются два соединения: двуокись и трехокись серы (рис. 5.9). В процессе первоначального горения топлива до трехокиси окисляется менее 3% серы. Оставшаяся часть превращается в двуокись серы - первичную форму, в которой сера поступает в атмосферу. Здесь двуокись серы постепенно окисляется кислородом воздуха до трехокиси. Образовавшаяся трехокись сразу же реагирует с водяным паром, образуя серную кислоту (H_2SO_4), которая присутствует в воздухе в виде легкого тумана, состоящего из крошечных капель. Этот туман обладает высокой коррозирующей способностью и разъедает многие материалы, в том числе многие строительные, такие как мрамор и известь.

Двуокись серы, образующаяся при сжигании топлива, тоже вступает в реакцию с парами воды, образуя сернистую кислоту (H_2SO_3). Эта слабая кислота, в свою очередь, постепенно реагирует с кислородом воздуха, образуя серную кислоту. Итак, серная кислота в воздухе образуется двумя путями. В сухом воздухе образуется главным образом трехокись серы и затем серная кислота; а при высокой влажности образуется в основном сернистая кислота, которая затем окисляется до серной.

При сжигании топлива образуются также окислы кальция и железа. Эти окислы попадают в атмосферу в больших количествах при сжигании угля, но при сгорании нефти их гораздо меньше. Попавшие в атмосферу окислы обычно вступают в реакцию с серной кислотой с образованием частиц сульфатов кальция и железа. Таким образом, при реакции окиси кальция с серной кислотой образуются сульфат кальция и вода. Окислы железа вступают в реакцию аналогичным образом. Эти реакции представлены на рис. 5.9.

Количество содержащихся в городском воздухе частиц сульфатов и капелек серной кислоты может достигать от 5 до 20%. Полагают, что большая часть двуокиси серы превращается в сульфаты и серную кислоту в течение нескольких дней после ее выброса в атмосферу. За это время ветры могут отнести эти загрязнения на сотни километров от места их выброса.

Сероводород (H_2S) *и сероуглерод* (CS_2) поступают в атмосферу раздельно или вместе с другими соединениями серы, но в относительно меньшем количестве. Основными источниками выброса их являются предприятия по изготовлению искусственного волокна, сахара, коксохимиче-

ские, нефтеперерабатывающие, а также нефтепромыслы. В атмосфере при взаимодействии с другими загрязнителями они подвергаются медленному окислению до серного ангидрида.

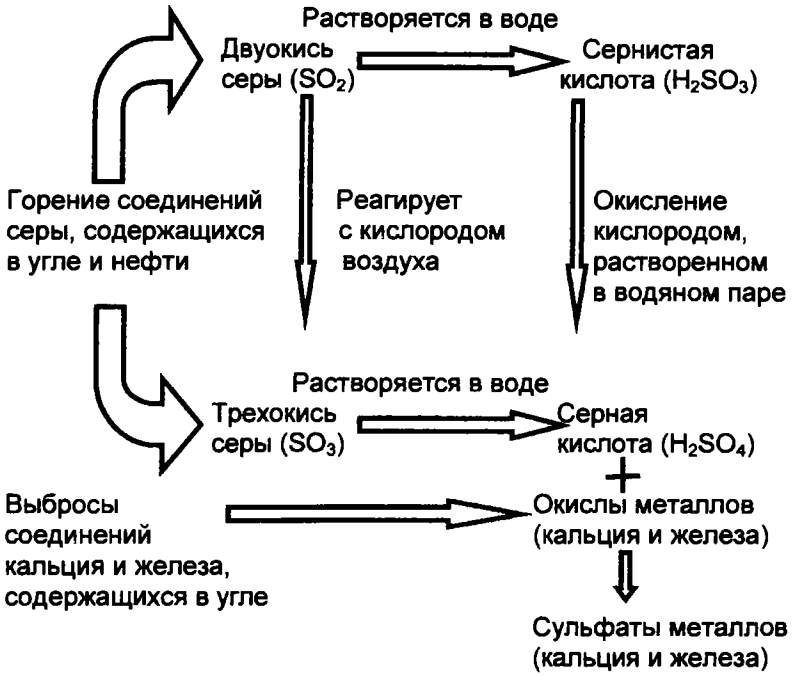

Рис. 5.9. Реакции с участием серы в воздухе

5.2.5. Воздействие серосодержащих веществ

Многие материалы под действием взвеси из капелек серной кислоты разрушаются. Помимо строительных материалов, содержащих углекислый кальций, таких как мрамор или известняк, подвергаются коррозии также металлы, в частности сталь, медь и алюминий; активно разрушаются ткани и одежда.

Высокая концентрация двуокиси серы и ее производных вызывает серьезное повреждение растительности. В тех местах, где содержание серной кислоты в воздухе достигает значения около 3000 мкг/м^3, листья, хвоя и другие растительные ткани выглядят побелевшими. Постепенно листья и хвоя приобретают вид обожженных, становятся красновато-коричневыми и опадают. Плавильные печи, в которых обогащают медные и свинцовые руды, содержащие серу, способны загрязнять выбросами газов обширные районы. Например, поразительное зрелище почти полного отсутствия растительности можно наблюдать в окрестностях Карабашского медепла-

вильного комбината.

Даже когда среднее содержание двуокиси серы составляет всего 100 мкг/м^3, что нередко имеет место в городах, растения могут приобретать желтоватый оттенок. Фруктовые деревья, такие, как яблони и груши, а также хвойные, такие, как сосна желтая или лиственница американская, чувствительны к повреждениям окислами серы. Весьма чувствительны к окислам серы хлопчатник, люцерна и ячмень.

Считают, что высокое содержание окислов серы в воздухе непосредственно влияет на увеличение заболеваемости людей и даже на рост их смертности. Во многих случаях катастрофического загрязнения атмосферы в таких городах, как Нью-Йорк, Осака и Лондон, исследователи неизменно отмечали увеличение смертности вслед за выбросами высоких концентраций окислов серы в воздух. Воздействие на здоровье людей окислов серы и пылевых частиц трудно отделить друг от друга, поскольку оба эти типа загрязнений обычно действуют совместно. Их совокупный эффект рассматривается ниже.

Отмечено, что заболевания дыхательных путей, например бронхиты, учащаются при повышении уровня окислов серы в воздухе. В одном из исследований было обнаружено, что даже в районе, где средняя годовая концентрация окислов серы составляла всего 100 мкг/м^3, количество заболеваний заметно возрастало.

Также было показано, что окислы серы вызывают затруднение дыхания из-за возрастающего сопротивления проходу воздуха по дыхательным путям. Уже одно это может служить достаточным основанием для борьбы с выбросами окислов серы в атмосферу. Однако двуокись серы вызывает и дополнительный эффект. В экспериментах на крысах было показано, что этот газ оказывается *коканцерогеном.* В присутствии бенз(а)пирена двуокись серы увеличивает частоту появления раковых опухолей. В настоящее время нет достаточных данных, чтобы считать двуокись серы канцерогеном для человека, но подозрения на этот счет имеются.

Наконец, двуокись серы является главным фактором, обусловливающим образование кислотных дождей, которые закисляют озера и которые, как полагают, ответственны за широкомасштабную гибель лесов в США, Канаде и других странах.

Неорганические соединения серы в угле, например, в форме сульфида железа (железного колчедана) могут быть удалены путем дробления угля с последующей промывкой его в воде. Для удаления хотя бы части серы, химически связанной с углеродом каменного угля, могут быть использованы различные химические реагенты. Помимо удаления части серы непосредственно из самого угля, окислы серы также могут быть удалены из отходящих дымовых газов посредством скрубберов или инжекции специфических сорбентов. Выбросы серы можно уменьшить за счет применения новых технологий, например путем сжигания в кипящем слое.

5.2.6. Окись углерода

При неполном окислении углерода образуется бесцветный, не имеющий запаха газ - окись углерода. В городском воздухе окись углерода содержится в большей концентрации, чем любой другой загрязнитель. Однако, поскольку этот газ не имеет ни цвета, ни запаха, наши органы чувств не в состоянии обнаружить его. Его нельзя увидеть, его нельзя ощутить по запаху; тем не менее он присутствует.

Основным источником окиси углерода в наших городах является автотранспорт (табл. 5.2).

$$C + S\ O_2 \rightarrow CO,$$

где С – углерод в автомобильном топливе; O_2 – кислород; СО – окись углерода.

Имеется и другой источник окиси углерода, с которым, правда, сталкиваются лишь курильщики и их ближайшее окружение. Попробуем сравнить человека - среднего курильщика, живущего в чистой окружающей среде, с некурящим, проживающим в сильно загрязненной среде. Оказывается, курильщик ежедневно поглощает вдвое больше окиси углерода по сравнению со своим некурящим собратом, живущим в сильно загрязненной среде.

Окись углерода вдыхается вместе с воздухом или с табачным дымом и поступает в кровь, где она конкурирует с кислородом в реакции соединения с гемоглобином. Гемоглобин представляет собой сложный белок, присутствующий в крови и переносящий кислород из легких к клеткам организма, а углекислый газ из клеток организма обратно в легкие. Окись углерода соединяется с молекулами гемоглобина прочнее, чем кислород. Чем больше окиси углерода содержится в воздухе, тем больше гемоглобина связывается с ней и тем меньше кислорода достигает клеток. По этой причине окись углерода при повышенных концентрациях представляет собой смертельно опасный яд.

В туннелях, больших котлованах или загрузочных площадках концентрация окиси углерода может достигать 70 м/м^3. После 8-12 часов работы при таком содержании окиси углерода у работающего оказывается «отключенным» до 10% гемоглобина. Если же человек в течение 8 часов дышит воздухом, концентрация окиси углерода в котором составляет 16 мг/м^3, то 3% гемоглобина его крови теряет способность доставлять кислород к тканям. Этот уровень углерода довольно частое явление на улицах городов. Стандартом на содержание окиси углерода в атмосфере установлено значение 10 мг/м^3, усредненное за 8 - часовой период.

Существует система по борьбе с выбросами окиси углерода. Один из первых шагов в этом направлении - увеличение количества воздуха по отношению к топливу в горючей смеси двигателя, работающего на бензине (обеднение смеси). Дополнительный воздух обеспечивает более полное сгорание бензина, что уменьшает количество окиси углерода в выхлопных газах. В некоторых двигателях применяется инжекция воздуха. Воздух

смешивается с выхлопными газами для доокисления окиси углерода до двуокиси

$$CO + SO_2 \rightarrow CO_2.$$

Типичный автомобильный двигатель середины шестидесятых годов выбрасывал с выхлопными газами в среднем 73 г окиси углерода на каждые 1,5 км пробега. В 1971 г. для автомобилей был установлен стандарт выброса окиси углерода на 1,5 км пробега - 23 г окиси углерода. Новые модели автомобилей без труда удовлетворяют этому стандарту. К 1981 г. выброс окиси углерода новыми автомобилями достиг уровня всего 3,4 г на 1,5 км.

Для достижения установленного стандарта выхлопные газы смешиваются с воздухом в присутствии катализатора. Дальнейшее окисление оставшейся окиси углерода происходит в каталитическом преобразователе. Именно такая система в настоящее время повсеместно применяется для уменьшения выброса окиси углерода в атмосферу. Тем не менее в автомобильной промышленности США продолжается исследование двухкарбюраторного двигателя с прямым воспламенением горючей смеси. Подобная система была применена японской компанией «Хонда», причем была достигнута требуемая степень сокращения выброса окиси углерода.

Кроме технического усовершенствования автомобильных двигателей необходимо введение обязательного контроля выхлопных газов автомобилей. Переход на более прогрессивную технологию, например использование двигателя с прямым воспламенением смеси, сократит необходимость в ежегодных проверках. Но даже при организации проверок борьба за улучшение качества воздуха продолжается, поскольку совокупный пробег автомобилей во всех странах непрерывно растет, а с ним возрастают и выбросы окиси углерода. Этот неограниченный рост можно было бы сократить за счет создания альтернативных систем экологически чистого транспорта.

5.2.7. Парниковый эффект

Еще одно загрязняющее атмосферу вещество - двуокись углерода представляет одну из естественных составляющих атмосферы и поэтому не знает никаких границ. Повсеместное сжигание ископаемого топлива и древесины, приводящее к повышению концентрации этого загрязнителя, равномерно возрастает в глобальном масштабе. Не принося непосредственного вреда растениям и животным даже при современном высоком содержании, двуокись углерода в атмосфере, тем не менее, действует как преграда, препятствующая рассеиванию в космос теплового излучения земной поверхности. Эффект, который оказывает двуокись углерода, сходен с эффектом стеклянной крыши парника. Стекло пропускает солнечный свет в парник, в результате чего воздух и почвенный покров парника согреваются за счет поглощенного солнечного излучения. Полагают, что двуокись углерода действует сходным образом. Солнечная энергия достигает земной поверхности практически беспрепятственно (двуокись углеро-

да прозрачна для видимого света), и поверхность земли нагревается. Однако длинноволновое инфракрасное излучение, уходящее от земли, задерживается и поглощается двуокисью углерода.

Глобальные повышения температуры Земли привели за последние 100 лет к повышению уровня Мирового океана на 10 – 14 см. Такой подъем происходил за такой период времени, когда имело место глобальное потепление климата на $0{,}4^0$ С. Поскольку вода расширяется при повышении температуры, подъем уровня Мирового океана в целом объясняется суммарным эффектом теплового расширения верхних слоев воды океанов и воды от таяния ледников.

По данным различных исследователей, к началу нового столетия уровень содержания двуокиси углерода в атмосфере возрастет на 25%. Такое увеличение способно вызвать глобальное повышение температуры примерно на 1^0С.

Накопление в атмосфере *метана и хлорфторуглеводородов,* так же как и двуокиси углерода, приводит к интенсификации парникового эффекта. Предположительно накопление метана происходит за счет добычи этого газа и в результате биологических процессов. Большое количество метана выделяется крупным рогатым скотом, поедающим корм, содержащий в больших количествах целлюлозу. Метан также образуется под водой на залитых рисовых чеках. Быстрое увеличение поголовья скота и увеличение площади посевов риса характерны для развивающихся стран с растущим населением. Хлорфторуглеводороды широко используются в качестве растворителей, охлаждающих средств в холодильных установках и различных бытовых баллончиках. Эти вещества создают парниковый эффект значительно эффективней, чем двуокись углерода. В итоге сделанные оценки темпов глобального потепления климата Земли вполне реализуемы.

5.2.8. Частицы в атмосфере

Частицы, взвешенные в воздухе, еще одно серьезное загрязнение атмосферы. В отличие от других загрязнений частицы очень разнородны по своему химическому составу. В воздухе они могут находиться в виде взвеси, твердых и жидких компонентов, весьма различны по происхождению. Движение транспорта, сжигание топлива, промышленные процессы и выбросы твердых отходов - все эти источники дают вклад в загрязнение атмосферы твердыми частицами. При сгорании угля образуются твердые частицы, диспергированные в воздухе, причем не только частицы золы (силикат кальция) и частицы углерода (сажа), но также частицы окислов металлов, таких как окислы кальция и железа (табл. 5.1). Частицы окислов металлов могут реагировать с частицами кислотных туманов, состоящих из капелек серной кислоты. В результате образуются частицы сульфатов металлов. Капли серной кислоты сами по себе - продукт реакции трехокиси серы с парами воды. Таким образом, значительную долю загрязнений, образующихся при сгорании угля, составляют капельки кислоты и частицы сульфатов металлов (рис. 5.9).

Количество частиц, поступающих в атмосферу при сгорании угля, чудовищно велико. Однако, к счастью для нас, большая часть этих частиц удаляется вместе с отходящими дымовыми газами. Отметим, что при сжигании нефти в качестве топлива образуется лишь незначительное количество золы. Если при сгорании около 500 кг угля образуется 35-55 кг золы, то при сгорании такого же количества нефти образуется всего около 1 кг золы.

При сгорании бензина и дизельного топлива в воздух попадают капли жидкого горючего. Жидкие углеводороды (соединения углерода с водородом) и жидкие производные углеводородов попадают в атмосферу из-за неполного сгорания в двигателях бензина и дизельного топлива. Значительные скопления в воздухе дыма, газообразных отходов (особенно диоксида серы), твердых частиц и мельчайших капелек влаги называют *смогом.* Различают два типа смога: зимний и летний. Метеорологической предпосылкой для зимнего смога является безветренная тихая погода (температурная инверсия). Летний смог называют также фотохимическим смогом. Смог особенно характерен для крупных городов, где чрезмерно широко пользуются автомобилями (табл. 5.2). В начале семидесятых годов около 40% частиц, содержащихся в воздухе Лос-Анджелеса, было обязано своим происхождением автомобилям. Выхлопы автомобильных двигателей способствовали появлению в воздухе частиц свинца - источником являлся бензин, к которому для повышения октанового числа добавляются соединения, содержащие свинец.

Таблица 5.2

Доля участия автомобильного транспорта в загрязнении атмосферы крупных городов мира, %

Города	Оксид углерода	Оксиды азота	Углеводороды
Москва	96.3	32.6	64.4
Санкт-Петербург	88.1	31.7	79
Токио	99	33	95
Нью-Йорк	97	31	63
Ежегодный мировой объем выбросов от двигателей внутреннего сгорания, млн.т	260	20	40

Открытые разработки угля и других полезных ископаемых загрязняют воздух огромными количествами частиц. Обогащение и обработка руд и выплавка металлов - дополнительные примеры промышленных процессов, при которых в воздух выделяется большое количество частиц. Раз-

личные процессы обработки металлов (дробление, размалывание, резание, сверление и т.п.) также служат источниками загрязняющих воздух частиц. Все эти производственные процессы, вместе взятые, могут привести к большим выбросам частиц в атмосферу, чем сжигание угля.

В недавнем прошлом при строительстве зданий в воздух попадало много частиц асбеста, который широко применялся для изоляции швов и обычно наносился путем распыления. В настоящее время применение асбеста запрещено, но он продолжает загрязнять атмосферу, когда сносятся старые постройки. Наконец, сжигание мусора и отходов в некоторых городах оказывается серьезным источником частиц, особенно в том случае, если установки для сжигания сосредоточены в одном месте.

Частицы из воздуха могут оседать на поверхностях, придавая им пыльный неприглядный вид. Помимо запыления, частицы способны вызывать коррозию, действуя как центры, вокруг которых развиваются коррозионные процессы. Ежегодная очистка запыленных поверхностей обходится в солидные суммы. Капли серной кислоты повреждают ткани растений. Соединения, образующиеся в процессе фотохимических реакций, могут обжигать листья многих овощных культур, таких как свекла, сельдерей, салат-латук и перец. Инертные (нереакционноспособные) частицы попросту загрязняют поверхность листьев растений. Частицы оказывают заметное воздействие на погоду. Они могут служить ядрами, на которых конденсируется водяной пар. Продолжительные туманы могут быть вызваны высокими уровнями содержания частиц в воздухе. В районах повышенного содержания частиц в атмосфере наблюдаются более частые дожди. Кроме того, частицы в атмосфере способны отражать обратно в космическое пространство до 15% солнечной энергии, поступающей на Землю. Именно этим эффектом можно объяснить небольшое, но заметное похолодание в Северном полушарии в последнюю четверть XX в. Недавние извержения вулканов Сент-Хеленс (США) и Эль-Чикон (Мексика) сопровождались такими выбросами частиц в атмосферу, в сравнении с которыми активность человека представляется карликовой. Однако эти извержения не увеличивают содержание частиц в воздухе наших городов, не считая редких исключений.

Совместное действие окислов серы и твердых частиц вызывает еще большие эффекты, так как окислы серы и твердые частицы в воздухе усиливают действие друг друга. Это означает, что при высоких уровнях этих загрязнений их воздействие на здоровье людей становится еще более опасным.

Почему окислы серы и твердые частицы появляются вместе в высоких концентрациях? Дело в том, что у них общий источник - сжигание угля. Уголь широко применяется не только как топливо на тепловых электростанциях; до Второй мировой войны углем повсеместно отапливали дома в различных странах мира.

Окислы серы и пылевые частицы существенно осложняют болезни дыхательных путей. Когда впервые обнаружилось, что загрязнения, со-

держащиеся в воздухе, могут вызывать смерть, оказалось что этими загрязнениями главным образом являются окислы серы и частицы. В Меус-Валли (Бельгия) в 1930 г., в трагедии в Доноре в 1948 г. и во время знаменитого лондонского смога в 1952 г. удары наносил именно этот убийца. Во время лондонского смога 1952 г. более 4000 смертей было отнесено на счет повышенного уровня загрязнений в воздухе. Сегодня больше ни у кого нет сомнений, что содержащиеся в воздухе окислы серы и присутствие большого количества частиц могут иметь весьма опасные последствия для жизни и здоровья людей.

5.2.9. Фотохимическое загрязнение воздуха

Еще один тип загрязнений появляется в результате происходящих в воздухе фотохимических реакций между окисью азота и углеводородами. Продукты этих фотохимических реакций (или реакций, инициируемых солнечным светом) представляют собой жидкие органические соединения, которые рассеиваются в воздухе в виде мельчайших капелек. В результате этих реакций образуются новые соединения, загрязняющие воздух, в том числе озон, альдегиды, а также необычные органические соединения. Эти новые загрязнители в сумме определяют как *фотохимическое загрязнение воздуха,* поскольку они появляются в результате фотохимических реакций.

В атмосфере присутствуют пять основных азотсодержащих газов: N_2, NH_3, NO, NO_2, N_2O. В конденсированной фазе они присутствуют в форме иона аммония (NH_4^+) и нитратного иона (NO_3^-).

Оксиды азота антропогенного происхождения в большинстве случаев попадают в атмосферу в виде NO. Затем происходят следующие реакции:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2 \qquad O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$

$$NO_2 + h\gamma \rightarrow NO + O \qquad O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$$

Возможны и другие многочисленные реакции с участием веществ, содержащих азот и кислород. Цикл азота в атмосфере дополняется образованием азотной кислоты:

$$4NO_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4HNO_3$$

Диоксид азота может гидролизоваться также в газовой фазе:

$$3NO_2 + H_2O \leftrightarrow 2HNO_3 + NO$$

Выделяющаяся по этим реакциям азотная кислота далее может реагировать с ионами металлов, образуя нитраты.

Таким образом, за фотохимическое загрязнение атмосферы ответственны источники выбросов в воздух окислов азота и углеводородов, поэтому борьба с фотохимическим загрязнением воздуха является по сути дела борьбой с выбросами этих элементов в атмосферу.

Окись азота образуется в природе при лесных пожарах, однако высокие концентрации окислов азота в городах и в окрестностях промышленных предприятий связаны с деятельностью человека. При высокотемпературном сгорании ископаемых видов топлива происходят реакции двух типов, в результате которых образуются окислы азота. К первому типу реак-

ций относится реакция между кислородом воздуха и азотом, содержащимся в топливе; при этом образуются окислы азота. В угле содержание азота обычно составляет около 1%. В нефти и газе - всего лишь 0,2-0,3%; именно этот азот и окисляется кислородом воздуха.

Ко второму типу относятся реакции между кислородом воздуха и азотом, содержащимся в воздухе, при этом, как и в первом случае, также образуются окислы азота, даже если в исследуемом топливе содержится малое количество азота. Окислы азота образуются при сгорании любых видов топлива – природного газа, угля, бензина или мазута. Приблизительно 95% годового выброса окислов азота в атмосферу - это результат сжигания ископаемого топлива. Около 40% общего объема выбросов приходится на автомобили и другие виды моторного транспорта. Примерно 30% приходится на сжигание природного газа, нефти и угля в топках электростанций. Сжигание ископаемого топлива для осуществления различных производственных процессов в промышленности добавляет еще 20%. Производство взрывчатых веществ и азотной кислоты - еще два источника выбросов окислов азота в атмосферу, правда, не связанные со сжиганием топлива. При использовании трех основных видов ископаемого топлива сжигание природного газа (во всех видах применения) дает примерно 20% общего объема выбросов окислов азота, сжигание угля - 25%, а нефти - 47%.

Углеводороды попадают в атмосферу многими путями. Метан - из природных источников, т.е. из месторождений угля, газа или нефти. Кроме того, он поступает в атмосферу при пожарах, а также выделяется из болот. (Именно выделением и самовозгоранием «болотного газа» объясняется появление «блуждающих огней» на болотах.) Однако метан обычно не вступает в реакции в атмосфере, поэтому, хотя фоновое содержание метана в воздухе может достигать 1 мг/м^3, он не рассматривается как загрязнитель атмосферы, поскольку является безопасным при указанных концентрациях. Правда, метан способен создавать парниковый эффект. Иными словами, как и двуокись углерода, метан не пропускает исходящее от земли тепловое излучение, хотя он прозрачен для солнечного света. В восьмидесятых годах было обнаружено, что концентрация метана в атмосфере увеличивается. Полагают, что возрастающее содержание метана в атмосфере может ускорить глобальное потепление, вызванное повышением концентрации двуокиси углерода.

Уровни фотохимического загрязнения воздуха тесно связаны с режимом движения автотранспорта. В периоды высокой интенсивности движения утром и вечером отмечается пик выброса в атмосферу окислов азота и углеводородов. Именно эти соединения, вступая в реакции друг с другом, обусловливают фотохимическое загрязнение воздуха.

Азот и кислород соединяются в условиях высокой температуры, развивающейся при сгорании горючего в автомобильных двигателях, образуя газообразную окись азота, которая попадает в атмосферу с выхлопными газами. Через несколько часов содержание в воздухе окиси азота сущест-

венно уменьшается. Параллельно с этим уменьшением в воздухе возрастает до максимума содержание двуокиси азота. Позднее, по мере уменьшения содержания двуокиси азота, растет концентрация третьего газа - озона. Через некоторое время содержание озона в воздухе также начинает убывать.

Реакции, в ходе которых возникают высокие концентрации двуокиси азота и озона, пока не совсем понятны. Тем не менее кое-какие ключевые связи уже выяснены. Возможность для протекания сложных фотохимических реакций создают углеводород и фотохимические свойства двуокиси азота.

В цепи этих реакций происходит образование и других загрязнителей. Углеводороды, реагируя с двуокисью азота, образуют пероксиацилнитраты (ПАН). Озон вступает в реакции с углеводородами с образованием альдегидов. Постепенно ветры разносят все эти соединения. Двуокись азота, ПАН, озон и альдегиды являются окислителями. Концентрация окислителей выражается их общей массой, содержащейся в 1 $м^3$ воздуха. Стандарт качества воздуха на содержание фотохимических загрязнителей первоначально был установлен по допустимой концентрации окислителей 240 мгк /$м^3$. Однако концентрация окислителей не указывает, сколько и какие именно окислители содержатся в воздухе, хотя, как правило, самым обильным оказывается озон.

К сожалению, измерение количества всех окислителей в загрязненном воздухе оказывается трудным делом. Вследствие этого фактически измеряют только содержание озона, и стандарт качества воздуха для фотохимических окислителей (240 мкг/$м^3$) оценивается по его содержанию, поэтому оценка стандарта по содержанию озона делает этот стандарт заниженным.

Примерно 90% окислов азота образуется в форме окиси азота (NO). Оставшиеся 10% приходятся на двуокись азота (NO_2). Двуокись азота-газ с неприятным запахом. Даже при малых концентрациях, составляющих всего 230 мкг/$м^3$, примерно треть добровольцев, участвовавших в эксперименте, ощущала его присутствие. Однако способность обнаруживать этот газ пропадала после 10 мин вдыхания, но при этом люди сообщали о чувстве сухости и «першении» в горле. Правда, и эти ощущения исчезали при продолжительном воздействии газа в концентрации, в 15 раз превышающей порог обнаружения, упомянутый выше.

Двуокись азота не только воздействует на обоняние. Она ослабляет ночное зрение - способность глаз адаптироваться к темноте. Этот эффект наблюдался при концентрации всего 0,14 мг/$м^3$. Зрительные и обонятельные ответы на воздействие двуокиси азота можно назвать сенсорными эффектами. Однако более важными следует считать патологические и функциональные эффекты двуокиси азота.

Были отмечены два основных функциональных эффекта двуокиси азота. Один из них связан с повышением усилий, затрачиваемых на дыхание,- врачи называют это явление повышенным сопротивлением дыха-

тельных путей. Эта реакция наблюдалась у здоровых людей при концентрации двуокиси азота всего 0,056 мг/м^3. Люди с хроническими заболеваниями легких испытывали затрудненность в дыхании уже при концентрации 0,038 мг/м^3.

Второй - данные, полученные группой чешских ученых, показали, что, как и окись углерода, газообразная двуокись азота может связываться с гемоглобином, делая его, таким образом, неспособным выполнять функцию переносчика кислорода к тканям тела. В настоящее время многие сходятся во мнении, что нитраты, содержащиеся в пище, могут присоединяться к гемоглобину, образуя метгемоглобин.

В многочисленных исследованиях было отмечено увеличение заболеваний дыхательных путей в районах, загрязненных двуокисью азота, однако присутствие и других загрязнителей в достаточно высоких концентрациях делает эти результаты неубедительными, так что надежные выводы о причинах этих заболеваний сделать невозможно.

Двуокись азота делает людей более восприимчивыми к болезням дыхательных путей. Исследователи наблюдали большее число случаев катара верхних дыхательных путей, бронхита и воспаления легких среди населения, подвергавшегося воздействию высоких уровней двуокиси азота. Воспалительные процессы в глазах (конъюнктивит) - одно из серьезнейших последствий фотохимического загрязнения воздуха. Раздражение глаз может наблюдаться даже при невысоком содержании загрязнителей - 200 мкг/м^3.

Задолго до того, как было подтверждено влияние окислителей на здоровье людей, исследователи обнаружили их разрушающее воздействие на растения. На листьях растений были обнаружены небольшие темные пятна, наподобие штриховой исчерченности. Штриховая исчерченность - результат воздействия высоких концентраций озона. А высокие концентрации озона возникают там, где интенсивное использование автомобилей приводит к сильному загрязнению воздуха углеводородами и окислами азота.

Лабораторные исследования показали, что практически все растения повреждаются озоном и ПАН, содержащимися в воздухе. Многие растения повреждаются при концентрациях окислителей 80 – 160 мкг/м^3, что ниже уровня, установленного новым стандартом.

Борьба с присутствием окислителей в воздухе сводится к контролю за выбросами углеводородов и окислов азота. Поскольку значительная часть этих загрязнителей выбрасывается автомобилями, основные усилия направлены на уменьшение выбросов именно этими источниками.

5.2.10. Соединения свинца в воздухе

Основной источник свинца в атмосфере – двигатели внутреннего сгорания, работающие на бензине, поскольку в его состав входят соединения свинца, добавляемые туда для более равномерного сгорания горючей смеси. Много лет свинец добавляется к бензину в виде либо тетраэтил-

онные характеристики бензина: они исключают преждевременные вспышки горючей смеси при ее сжатии. Однако такие добавки сейчас уже не столь необходимы. Небольшое удорожание процесса перегонки позволяет получить горючее с нужными антидетонационными свойствами, так что добавление соединений свинца в бензин необязательно. В прошлом соединения свинца добавлялись в количестве от 0,56 до 0,94 г/л. Примерно 75 % свинца, содержащегося в бензине, выделяется в воздух с выхлопными газами автомобилей. В 1975 г. в результате сгорания бензина в двигателях автомобилей в атмосферу попало примерно 147 тыс. т свинца. Наличие свинца в воздухе подвергает живущих в городах людей серьезной опасности постепенного свинцового отравления.

Свинец - кумулятивный яд, иными словами, он постепенно накапливается в организме человека, поскольку скорость его естественного выведения очень низка. Присутствующий в атмосфере свинец непрерывно добавляется к тому количеству, которое уже содержится в нашем организме. Свинец уменьшает скорость образования эритроцитов в костном мозге; он также блокирует синтез гемоглобина.

Помимо вдыхания свинца вместе с воздухом люди, живущие в старых городских районах, подвергаются воздействию свинца из иного и гораздо более опасного источника. Речь идет об облупившейся краске. В течение длительного времени свинец широко использовался в качестве пигмента в красках, применявшихся при окраске домов, однако после Второй мировой войны свинец в красках был постепенно заменен двуокисью титана. С конца 1973 г. было запрещено добавлять свинец к большей части красок, используемых в США. Тем не менее, еще сохранились дома довоенных построек.

Там, где концентрации свинца в воздухе очень высоки, в крови и тканях тела людей обнаруживают его значительные концентрации. В результате у жителей городов пороговые уровни свинца, при которых проявляются признаки свинцового отравления, достигаются быстрее. Поскольку у маленьких детей пороговый уровень составляет половину уровня для взрослых, первые оказываются гораздо более чувствительными к отравлению свинцом.

Содержание свинца, измеренное в городском воздухе при усреднении за месячный срок, составляет 5 мкг/м^3. При такой концентрации годовалый ребенок вдыхает и поглощает из воздуха почти столько же свинца, сколько он получает и поглощает его из пищи. Таким образом, из-за присутствия свинца в бензине количество его, попадающее в организм ребенка, почти удваивается. Уличная пыль, в которой также обнаружены высокие уровни соединений свинца, - еще один источник поступления свинца в организм людей. Отравление свинцом у детей поначалу проявляется как потеря аппетита, непослушание, потеря интереса к играм. Развитие заболевания характеризуется постоянными запорами, рвотой, припадками и обмороками.

Свинцовое отравление может закончиться смертью, однако в случа-

Свинцовое отравление может закончиться смертью, однако в случаях средней тяжести дети оказываются умственно отсталыми. Даже при содержании свинца ниже порогового, по-видимому, происходит ослабление способности к учебе. Как свидетельствуют проведенные исследования, свинец способен вызывать рак у крыс; полагают, что подобный эффект может наблюдаться и у человека.

Опасность для здоровья в результате как разового, так и хронического отравления свинцом была одной из причин, по которой в США с 1974 г. было решено постепенно прекратить добавление соединений свинца в бензин. Еще один повод для такого решения - отравление свинцом каталитических преобразователей, применяемых для дожигания углеводородов и окиси углерода, оставшихся в выхлопных газах.

В 1977 г. Агентство охраны окружающей среды США установило стандарт на содержание свинца в атмосфере-1,5 мкг/м^3 при усреднении за месяц. За прошедшее десятилетие число автомобилей, для которых был необходим бензин с добавлением соединений свинца, уменьшилось, а тем самым уменьшилось и поступление свинца в атмосферу с выхлопными газами автомобилей. К сожалению, несколько меньшая цена этилированного (с добавлением соединений свинца) бензина привлекает покупателей. Уменьшение содержания свинца в бензине не исключит полностью свинцового отравления людей, но ликвидирует один из элементов риска. Свинцовое отравление остается одной из важнейших проблем здравоохранения.

5.2.11. Меры по предотвращению загрязнений атмосферного воздуха

Воздействие большинства загрязняющих воздух веществ ограничивается небольшими территориями, непосредственно примыкающими к источникам выбросов (рис. 5.8). Обычно это расстояние составляет 30 – 50 км. Однако если источниками загрязнений являются высокие трубы тепловых станций или плавильных печей, то распространение окислов серы, подхваченных воздушными потоками в верхних слоях атмосферы, может происходить на значительные расстояния. Выпадая впоследствии на землю в виде частиц или кислотных дождей, они способны закислять природные водоемы, способствовать гибели лесов, увеличивать заболеваемость людей на достаточно удаленных территориях, нередко «не соблюдая» административных и государственных границ.

В настоящее время большое значение для сохранения биосферы приобретают работы по улучшению качества воздушной среды. Этими вопросами занимаются во всех странах с развитой промышленностью, разрабатываются законодательные акты на различных уровнях управления.

Существует два пути снижения вредных выбросов в атмосферу - внедрение безотходных и малоотходных производств и технологических процессов и повышение эффективности действующих установок очистки воздуха, внедрение замкнутых воздушных циклов с частичной рециркуляцией воздуха. Промышленные агрегаты, особенно вновь вводимые, должны быть оборудованы пыле- и газоулавливающими средствами.

Применяемые пылеулавливающие системы по принципиальным особенностям процесса очистки разделяют на четыре группы: сухие и мокрые пылеуловители, тканевые (матерчатые) фильтры и электрофильтры. Выбор того или иного типа оборудования зависит от вида пыли, ее физико-химических свойств, дисперсного состава и общего содержания в воздухе.

От характера протекания физико-химических процессов методы очистки промышленных отходов делят на следующие группы: промывка выбросов растворителями примеси (метод абсорбции), промывка выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (метод хемосорбции); поглощение газообразных примесей твердыми активными веществами (метод адсорбции); поглощение примесей с применением катализаторов.

Более эффективно применять полностью или частично замкнутые воздушные циклы. Таким образом, загрязненный воздух удаляется от оборудования и из зоны дыхания рабочих. Пройдя через пылеуловители, он частично выбрасывается в атмосферу. Эффективность схем и методов очистки воздуха возрастает, если они являются составной частью технологического оборудования. Улавливание вредных для окружающей среды веществ позволяет сохранить ценные готовые продукты и сырье во многих отраслях промышленности. Так, улавливание серы из отходящих газов Магнитогорского комбината обеспечивает санитарную очистку и одновременно дает возможность получить многие тысячи тонн серной кислоты в год по сравнительно низкой цене. Улавливание цемента позволило отказаться от сооружения нескольких заводов. Подобные примеры можно продолжить.

Ежегодно в мире выпускается свыше 25 млн. автомобилей. К 2000 году численность мирового автомобильного парка достигла 500 млн. единиц, из них около 400 млн. легковых. Среди источников загрязнения атмосферного воздуха автомобили занимают первое место. Загрязнение воздуха городов, крупных поселков с интенсивным движением автотранспорта заставляет искать альтернативу автомобилю с двигателем внутреннего сгорания. Многообещающим является электромобиль на аккумуляторах, хотя здесь много вопросов и нерешенных проблем.

Важным является создание не загрязняющего атмосферу общественного транспорта: это и метрополитен, скоростные железные дороги, транспортные средства на магнитной подушке и т. д.

Считалось, да и сегодня считается, что атмосферный воздух загрязняют промышленные предприятия городов, а жители сельских районов страдают за чужие грехи. Однако это не так. Например, в Курганской области в общем объеме валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу традиционно сельские районы дают без малого половину. Практически в каждом населенном пункте дымит котельная, а их по области около двух тысяч. Большинство из них не имеют газо-и пылеулавливающего оборудования. В райцентрах и населенных пунктах немало предприятий жилищно-коммунального хозяйства, предприятий по переработке сельхоз-

продукции, древесины, по производству строительных материалов. Как правило, на этих предприятиях используется старое оборудование, и поэтому происходит постоянное загрязнение атмосферного воздуха. Решение указанных проблем является весьма актуальным.

В улучшении воздушной среды городов и поселков большое значение имеют архитектурные и планировочные мероприятия. Структура планировки должна способствовать улучшению микроклимата и защите воздушного бассейна. Необходимо учитывать основные источники загрязнения окружающей среды - промышленные объекты и установки, автомобильные дороги, аэропорты и аэродромы, железные дороги, телецентры, ретрансляторы, радиостанции, электростанции, ЛЭП, дискомфортные природно-климатические условия, организацию очистки и утилизацию отходов и т. д. В зависимости от вредности выбрасываемых в атмосферу веществ и степени их очистки в ходе технологического процесса промышленные предприятия делятся на пять классов. Для предприятий первого класса устанавливается санитарно-защитная зона шириной 1000 м, второго - 500, третьего - 300, четвертого - 100 и пятого-50 м. В санитарно-защитной зоне допускается расположение пожарных депо, бань, прачечных, гаражей, складов, административно-служебных зданий, торговых помещений и т. д., но не жилых домов. Территория этих зон обязательно должна быть озеленена. Роль зеленых насаждений и лесопарковых массивов в городах многогранна. Зеленые насаждения являются биофильтром, отфильтровывают вредные примеси, радиоактивные частицы, поглощают шум. Такова роль, например, зеленых насаждений любого города.

В целом защита атмосферного воздуха от загрязнений должна проводиться не только в региональном или местном масштабе, но и в первую очередь в глобальном, поскольку воздух не знает никаких границ и находится в вечном движении.

5.3.Загрязнение гидросферы

Рост населения, бурное развитие промышленности, сельского хозяйства и транспорта вызывают не только увеличение водопотребления, но приводят и к прогрессирующему загрязнению воды. Загрязнение рек, озер, морей и даже океанов происходит с нарастающей скоростью, так как в водоемы поступает огромное количество взвешенных и растворенных органических и неорганических веществ, микроорганизмов, бактерий, тепла и прочих загрязнений.

5.3.1. Загрязнение морей и океанов

Моря и океаны играют большую роль в сохранении среды обитания человека, во многом определяют климат земли и обеспечивают его баланс. Основная доля общего запаса органического углерода приходится на океан, а значительная часть общей валовой продукции фотосинтеза - на зеленые растения океана, в первую очередь на фитопланктон. Океан называют иногда «легкими планеты» - столь велика его роль в процессе круговорота кислорода и углерода. По мнению многих специалистов, общая площадь загрязнения нефтью океанов составляет 20% акватории, что обусловливает более высокое альбедо, чем поверхность чистого океана. Кроме того, моря и океаны в настоящее время стали вместилищем большого количества разнообразных отходов. В результате сброса в реки, а затем в океан сточных вод промышленных предприятий, стока с обработанных химикатами полей и лесов, потерь жидкого топлива при перевозках танкерами постоянно возрастает загрязнение океанов и морей такими вредными для жизнедеятельности веществами, как нефть, тяжелые металлы, пестициды, радиоизотопы и др.

Токсические вещества, в частности окись углерода, двуокись серы, попадают в морскую воду через атмосферу. Например, ежегодно в Мировой океан вместе с дождем поступают 50 тыс. т свинца, попадающего в воздух вместе с выхлопными газами от силовых установок транспортных систем. Под влиянием течений загрязнения очень быстро распространяются по водному пространству. Все это приводит к тому, что наибольшие загрязнения формируются в прибрежных водах крупных промышленных центров, в районах нефтедобычи и интенсивного судоходства, а также в устьях полноводных рек.

Многолетние данные о влиянии распространения в океане загрязняющих веществ на морские организмы и человека показывают, что наиболее опасными с точки зрения их воздействия на природные экосистемы являются углеводороды, т.е. сырая нефть, нефтепродукты, а также хлорированные углеводороды (например, пестициды), токсичные металлы и радиоактивные вещества.

Различают три группы источников загрязнения Мирового океана:

морские – корабли, суда различного назначения и другие установки и устройства, эксплуатируемые в морской среде: трубопроводы, установки и

устройства, используемые при разведке и разработке природных ресурсов морского дна и его недр;

наземные - реки, озера и другие водные системы, куда загрязняющие вещества попадают с грунтовыми водами, а также в результате сбросов сточных и нагретых вод с различных береговых объектов, захоронений радиоактивных отходов и других особо вредных веществ;

атмосферные - различные промышленные предприятия, транспортные средства и другие объекты, откуда могут происходить выбросы в атмосферу вредных газообразных отходов.

5.3.2. Загрязнение нефтью и нефтепродуктами

К числу наиболее распространенных и вредных загрязняющих веществ относится нефть, ежегодное поступление которой в моря и океаны, по данным ООН, достигает 6 - 7 млн т. Ожидается дальнейший рост загрязнений нефтью из-за постоянного увеличения объема ее добычи, особенно с континентального шельфа.

Каждая тонна нефти покрывает тонкой пленкой примерно 12 км^2 водной поверхности и загрязняет до миллиона тонн морской воды. Нефтяная пленка вызывает гибель оплодотворенной икры, нарушает процессы фотосинтеза и выделения кислорода, осуществляемого фитопланктоном, нарушая тем самым газообмен между атмосферой и гидросферой.

Нефтепродукты попадают в морскую воду непосредственно в результате аварий и сбросов или выноса речными и ливневыми стоками и грунтовыми водами, а также из атмосферы, главным образом в составе атмосферных осадков (табл. 5.3). Первый канал поступлений приводит к локальным или региональным загрязнениям морской среды, а второй - к глобальным.

Таблица 5.3

Распределение потерь нефти от общей суммы потерь в океане за год

Потери, %	Вид потерь
1	При бурении скважин
5	Смывается с суши ливневыми водами
6	При аварии танкеров и буровых платформ
10	Выпадает в океан с осадками
10	Выносится сточными водами
17	Сбрасывается в портах и припортовых акваториях
23	Сбрасывается в океан с промывочными и балластными водами с танкеров
28	Выносится реками

Кроме техногенных источников загрязнения имеются и природные. Естественные выходы нефти образуются в местах ее просачивания из нефтеносных слоев через земную кору. Такие выходы известны у берегов Южной Калифорнии, в Мексиканском и Персидском заливах, Карибском море. Скорость поступления нефти из естественных выходов обычно невелика, поэтому таким образом в моря и океаны попадает сравнительно небольшое

количество нефтяных углеводородов, а основную массу загрязнений Мирового океана (более 90%) поставляют источники антропогенного происхождения.

Нефтяные загрязнения, формирующие локальные зоны, остаются устойчивыми во времени, поэтому в их распространении огромную роль играют океанические циркуляции. Именно они переносят нефтяные загрязнения в наиболее чистые районы Мирового океана, в том числе и в Северный Ледовитый океан.

Поступившие в воду нефтепродукты деградируют в результате химического, фотохимического и бактериального разложения, а также деятельности некоторых морских организмов и высших растений. Однако «процесс» естественной нейтрализации нефтепродуктов достаточно длителен и может составлять от одного до нескольких месяцев.

Смешиваясь с водой, нефть образует эмульсию двух типов: прямую-«нефть в воде» и обратную-«вода в нефти». Прямые эмульсии, составленные капельками нефти диаметром до 0,5 мкм, менее устойчивы и характерны для нефти, содержащей поверхностно-активные вещества. При удалении летучих фракций нефть образует вязкие обратные эмульсии, которые могут сохраняться на поверхности, переноситься течением, выбрасываться на берег и оседать на дно. Однако наибольшую опасность по своим последствиям представляют нефтяные пленки, образующиеся на водной поверхности и уменьшающие теплопроводность и теплоемкость верхнего водного слоя, поэтому наличие нефтяной пленки сказывается на процессе испарения. Так, на спокойной воде из-за тонкого слоя нефти испарение уменьшается в 1,5 раза, а при скорости ветра до 6 - 8 м/с - на 60%, так как пленки служат барьером для молекул воды и снижают аэродинамическую шероховатость водной поверхности. Экспериментально установлено, что за 1 ч с поверхности океана в одну квадратную милю при наличии нефтяной пленки испаряется 45 т воды, в то время как при отсутствии пленки - 97 т. Замедление процесса испарения приводит к тому, что воздушные массы, движущиеся над океаном, слабее насыщаются водяным паром.

В естественных условиях через границу раздела атмосфера - водная поверхность непрерывно происходит обмен кислородом и углекислым газом, интенсивность которого при наличии нефтяной пленки сильно уменьшается. При определенных условиях нефтяные пленки понижают температуру поверхностного слоя воды (не ниже +4°С), что приводит к повышению ее плотности, и в результате верхний слой воды погружается в глубину, занося туда нефтяное загрязнение. В мелководных бассейнах поверхностные загрязненные слои могут опускаться на дно и образовывать придонные воды, содержащие значительное количество нефти.

Нефтяные загрязнения воздействуют и на живые организмы, экранируя солнечное излучение и замедляя обновление кислорода в воде. В результате перестает размножаться планктон - основной продукт питания морских обитателей. Толстые нефтяные пленки нередко становятся причиной гибели морских птиц.

Нефть отрицательно влияет на физиологические процессы, протекающие в живых организмах, вызывает патологические изменения в тканях и органах, нарушает работу ферментативного аппарата, нервной системы. Нефть - своего рода наркотик для морских обитателей. Замечено, что некоторые рыбы, «хлебнув» однажды нефти, уже не стремятся покинуть отравленную зону. Кроме того, нефть отрицательно влияет на вкусовые качества мяса морских обитателей.

Нефтяное загрязнение - грозный фактор, влияющий на жизнь всего Мирового океана. Особенно опасно загрязнение высокоширотных вод, где из-за низкой температуры нефтепродукты практически не разлагаются и как бы «консервируются» льдами, поэтому нефтяное загрязнение может нанести серьезный ущерб окружающей среде Арктики и Антарктики.

5.3.3. Загрязнение тяжелыми металлами

В условиях активной антропогенной деятельности загрязнение океанических вод тяжелыми металлами стало особо острой проблемой. Группа тяжелых металлов плотностью выше 4,5 г/см^3 объединяет более 30 элементов периодической системы. Эти металлы (ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк) относятся к числу распространенных и весьма токсичных загрязняющих веществ. Они широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому, несмотря на очистные мероприятия, содержание тяжелых металлов и их соединений в промышленных сточных водах довольно высокое. Большие массы этих соединений поступают в океан через атмосферу. Для морских биоценозов наиболее опасны ртуть, свинец и кадмий, так как они сохраняют свою токсичность достаточно долго. Например, ртутьсодержащие соединения (особенно метилртуть) - сильнейшие яды, действующие на нервную систему, они представляют угрозу для жизни всего живого. В 50-60-е годы XX в. в районе бухты Миномата (Япония) было зарегистрировано массовое отравление населения, жертвами которого стали десятки тысяч человек, употреблявших в пищу зараженную рыбу. Причиной заражения было предприятие, сбрасывающее ртуть в воду залива.

В Мировой океан в год поступает до 2 млн. т свинца, до 20 тыс. т кадмия и до 10 тыс. т ртути. Наиболее высокие уровни загрязнения имеют прибрежные воды и внутренние моря. Немалую роль в загрязнении Мирового океана играет и атмосфера. Так, до 30% всей ртути и 50% свинца, поступающие в океан ежегодно, переносится через атмосферу. Например, Средиземное море считают самым грязным на Земле. В него ежегодно выбрасывается 120 т минеральных масел, 100 т ртути, 3800 т олова, 2400 т хрома, 21000 т цинка и еще десятки других вредных веществ. В результате сбросов сточных вод 80 % рыбы гибнет. Загрязнено и Балтийское море, в которое впадает 200 рек и на берегах которого протяженностью 20 тыс. км расположено 60 крупных городов.

Попав в морскую воду, тяжелые металлы концентрируются главным образом в поверхностной пленке, в придонном осадке и в животных и растениях, тогда как в самой воде они остаются лишь в сравнительно неболь-

ших концентрациях. Здесь особо значима поверхностная пленка, которая обычно простирается на глубину 50 - 500 мкм. Именно в данной области протекают все равновесные процессы массообмена между водой и атмосферой.

Активность накопления различных веществ в живых организмах определяется как отношение содержания вещества в тканях гидробионтов (обитателей водной среды) к концентрации его в воде и называется коэффициентом накопления. Например, в дафниях коэффициент накопления метилртути - 4 тыс., в планктоне свинца-12 тыс., кобальта - 16 тыс., а меди -90 тыс.

Большие количества тяжелых металлов сосредоточиваются в донных осадках. Это подтверждается тем, что концентрация металлов в осадке может быть на несколько порядков выше, чем в воде.

Установлено, что естественные возможности нейтрализации загрязнений в Мировом океане практически исчерпаны. Общая оценка состояния Мирового океана более тревожна, чем оценка состояния атмосферы. Это объясняется тем, что эффект воздействия загрязнений в атмосфере, как правило, не превышает 10% естественных значений, а в океане из-за антропогенного влияния биопродуктивность отдельных сообществ в обширных районах может уменьшиться на 25 - 30%.

5.3.4. Загрязнение материковых вод

Материковые воды обычно подразделяют на поверхностные, почвенные, подземные.

Пресные материковые воды распределены на поверхности Земли крайне неравномерно. Так, в Европе и Азии, где проживает 70% населения мира, сосредоточено лишь 39% мировых речных вод. На территории России 82% речного стока приходится на северные районы страны, которые по климатическим условиям малопригодны для развития земледелия и существенно менее заселены, чем южные районы, экономически более развитые, но испытывающие дефицит пресной воды.

Неравномерное распределение осадков и всевозрастающее загрязнение гидросферы привели к тому, что во многих странах ощущается недостаток пресной воды. В настоящее время около 300 млн. человек испытывают проблемы, связанные с нехваткой пресной воды, и это число может возрасти в 10 раз к 2025 г.

Однако наиболее ощутимое воздействие на источники пресной воды наносят современные технологии, так как под их воздействием растет загрязнение рек и озер промышленными и бытовыми отходами, токсичными веществами. Только промышленность ежегодно сбрасывает в реки более 160 км^3 промышленных стоков - неочищенных или недостаточно очищенных. Они загрязняют свыше 4 тыс. км^3 речных вод, т.е. около 10% общего речного стока. В промышленно развитых странах эта цифра достигает 30% и более. В итоге большинство рек Европы, Северной Америки и других континентов в своих руслах несут уже не пресную воду, пригодную для во-

доснабжения населения, а разбавленные сточные воды городов, промышленных предприятий, животноводческих ферм и т.д., в реках вместо чистой воды сложные растворы и взвеси вредных химических веществ и бактерий.

Интенсивное загрязнение воды, превышающее возможности ее самоочищения, приводит к превращению в пустыни больших территорий. Некогда полноводные чистые реки и озера сплошь и рядом мелеют, в них размножаются синезеленые водоросли, и вода становится непригодной ни для питья, ни для жизни рыб и других водных организмов.

Число загрязнителей пресной воды достигает 2500. По данным Всемирной организации здравоохранения, до 80% всех заболеваний, связанных с качеством среды обитания, - результат употребления населением грязной воды. Почти 2,5 млрд жителей планеты страдает дизентерией, гепатитом, диареей и другими заболеваниями, связанными с загрязнением воды.

Основными источниками загрязнения материковых вод являются:

1. Атмосферные воды, несущие массы вымываемых из воздуха поллютантов (загрязнителей) промышленного происхождения. При стекании по склонам атмосферные и талые воды дополнительно увлекают с собой большие массы различных веществ. Особенно опасны стоки с городских улиц и промышленных площадок, несущие массы нефтепродуктов, мусора, фенолов и кислот.

2. Городские сточные воды, включающие преимущественно бытовые стоки, содержащие фекалии, детергенты (поверхностно-активные моющие средства), микроорганизмы, в том числе патогенные.

3. Промышленные сточные воды, образующиеся в самых разнообразных отраслях производства, среди которых наиболее активно потребляют воду черная металлургия, химическая, лесохимическая и нефтеперерабатывающая промышленности.

С развитием промышленности и увеличением потребления воды растет и количество жидких отходов - сточных вод. Еще в 60-х годах ежегодно в мире образовывалось около 700 млрд. $м^3$ сточных вод. Примерно 32 % из них - промышленные сточные воды, загрязненные различными веществами. Только половина жидких промышленных отходов подвергалась очистке тем или иным методом. Другая половина сбрасывалась в водоемы без какой-либо очистки.

Различные технологические процессы производят следующие основные типы сточных вод.

1. Реакционные воды, образующиеся в процессе реакций с выделением воды. Эти воды загрязнены как исходными веществами, так и продуктами реакции.

2. Воды, содержащиеся в сырье и исходных продуктах (свободная или связанная вода); в результате переработки загрязняются всевозможными веществами.

3. Промывные воды - воды после промывки сырья, продуктов, тары, оборудования, маточные водные растворы.

4. Водные экстрагенты и абсорбенты.

5. *Охлаждающие воды,* не соприкасающиеся с технологическими продуктами и использующиеся в системах оборотного водоснабжения, несут в себе тепловое загрязнение.

Таблица 5.4

Характеристика бытовых и промышленных сточных вод

Показатели	Бытовые сточные воды	Промышленные сточные воды
Происхождение	Образуются в результате хозяйственно-бытовой деятельности и физиологических выделений людей	Образуются в результате технологических процессов на производстве, сопровождающихся удалением отходов, потерей сырья и реагентов или готовой продукции
Количество	Ограничено пределами водопотребления населения для физиологических и культурно-бытовых нужд	Определяется потребностями технологических процессов и характеризуется значительными колебаниями
Режим спуска	Неравномерный, определяющийся бытовыми условиями жизни населения	Неравномерный - соответственно технологическому процессу
Взвешенные вещества	Присутствуют постоянно, разнообразны по количеству и качеству	Крайне разнообразны по количеству и качеству
Реакция	Нейтральная или слабощелочная	От резкощелочной до резкокислой, нередко меняющейся во времени
Химический состав	Преобладают органические соединения животного или растительного происхождения	Преобладают органические синтетические вещества и минеральные соединения
Токсичность и бактерицидность	Обнаруживается в различной степени	Обнаруживается в различной степени
Типичность состава и свойств	Заметно выражена, колебания концентрации зависят от уровня водопотребления	Выражена лишь для одинаковых производств
Гигиеническое значение	Преимущественно эпидемиологическое, общесанитарное	Преимущественно общесанитарное значение, иногда эпидемиологическое, часто токсикологическое
Методы обезвреживания	Биологические на типовых сооружениях с дезинфекцией	Разнообразные химические, физические, механические, дезинфекция как исключение

6. *Бытовые воды* - воды столовых, прачечных, душевых, туалетов, воды после мытья помещений и т.д.

7. *Атмосферные осадки,* стекающие с территории населенных пунктов и промышленных предприятий и загрязненные различными химическими веществами.

Общие характеристики бытовых и промышленных сточных вод приведены в табл.5.4.

Загрязнение рек принимает угрожающие размеры. Например, только в Рейн ежегодно сбрасывают 941 т ртути, 1040 т мышьяка, 1700 т свинца, 1400 т меди, 13000 т цинка, 100 т хрома и 20 млн. т различных солей. Сточные воды сильно загрязнили Великие озера Америки. Не лучше выглядит картина загрязнения вод и в России, например в Свердловской области ежегодный сброс сточных загрязненных вод промышленными предприятиями в разные годы колеблется от 98 до 420 млн. $м^3$.

В сточных водах гидролизной промышленности присутствуют спиртовые и фурфурольные компоненты, последрожжевая бражка, сивушные, эфироальдегидные и скипидарные фракции, различные кислоты.

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности в большом количестве сбрасывают в воду целлюлозное волокно и растворенные органические вещества. В Финляндии сбросы целлюлозно-бумажного производства составляют 84% всех промышленных стоков, в Швеции - 80, в США - 13 %. В стоках предприятий ЦБП растворены углеводы, смолы, жиры. Все они легко окисляются при участии аэробных микроорганизмов, что связано с интенсивным потреблением кислорода, растворенного в воде, и пресыщением водоемов органикой.

При сульфитном способе производства бумаги один из наиболее обычных сбросов - сульфитный щелок. Стоки могут иметь кислую, нейтральную или щелочную реакцию, что в любом случае связано с изменением pH водоема.

Около 30% всей массы загрязняющих веществ в различные источники воды поступает с поверхностными и ливневыми стоками с территорий санитарно неблагополучных населенных мест, сельскохозяйственных объектов и угодий, оказывая наиболее сильное влияние в период весеннего паводка.

В середине 90-х годов XX в. около 50% населения России использовали для питьевых целей воду, не соответствующую гигиеническим требованиям по различным показателям качества. Так, в 1992 г. 22,1% исследованных проб питьевой воды, подаваемой населению, не отвечали гигиеническим требованиям по санитарно-химическим и 12,3% - по микробиологическим показателям. Треть населения России для питьевых целей использует воду из децентрализованных источников. Анализ воды из таких источников показал, что 28% проб не отвечают гигиеническим требованиям по санитарно-химическим, а 29,4% - по бактериологическим показателям.

Изменение pH водной среды в результате загрязнения оказывает отрицательное влияние на организмы. В пресноводных озерах и реках pH воды обычно 6 - 7, живые организмы адаптированы именно к этому уровню. Изменение реакции воды всего на одну единицу pH по сравнению с оптимумом приводит в большинстве случаев к стрессу, а нередко и к гибели различных групп водных организмов. Подкисление озер и рек влияет и на сухопутных животных, так как многие птицы и звери входят в состав пищевых цепей, начинающихся с водных экосистем.

Сброс канализационных стоков, особенно неочищенных или недостаточно очищенных, оказывает отрицательное влияние на круговорот органического вещества в водоеме, грозит опасностью инфекционных заболеваний, и в первую очередь человека. Из загрязняющих веществ очень опасны детергенты, или синтетические моющие средства. Выброшенные в водоемы, они сильно пенятся. Слой пены может достигать значительной толщины и препятствует доступу кислорода в воду.

В наибольшем количестве в фосфатсодержащих моющих средствах присутствуют соединения фосфора, служащие для смягчения воды. Сухие моющие средства (порошки) обычно содержат триполифосфат натрия; жидкие моющие средства могут содержать фосфаты калия или натрия. Смягчители необходимы потому, что вода нередко содержит ионы кальция или магния. Ионы магния и кальция соединяются с мылом и образуют нерастворимый осадок. Этот осадок не дает мыльной пены и не растворяет грязь или жир. Аналогичным образом ионы кальция и магния могут связываться с поверхностно-активными или растворяющими грязь молекулами моющих средств. Смягчители воды образуют комплексы с этими кальциевыми и магниевыми ионами. Без смягчителей производителям пришлось бы вводить в выпускаемые ими моющие средства большое количество довольно дорогих поверхностно-активных веществ, чтобы быть уверенным в возможности успешного применения их продукции в местах с жесткой водой.

Попадающие в воду полициклические ароматические углеводороды, ароматические амины (например, бензин), *N*-нитрозосоединения обладают канцерогенным действием, вызывая опухолевые образования в разных органах.

Экологически опасны не только токсичные вещества, содержащиеся в сточных водах. Масса волокон, выбрасываемых предприятиями, связанных с производством различных материалов, способна забивать дыхательные системы водных организмов и вызывать их гибель.

Источником загрязнения водных объектов является и сельское хозяйство. Во-первых, повышение урожайности, продуктивности земель неизбежно связано с применением ядохимикатов, используемых для подавления вредителей, болезней растений и сорняков. Эти ядохимикаты непосредственно попадают на поверхность почвы или смываются на большие расстояния, неизбежно оказываясь в водных объектах.

Во-вторых, животноводство связано с образованием больших масс мертвой органики (навоза, подстилки), мочевины, которые опять-таки могут оказываться в водных объектах. Эти отходы неядовиты, но их массы огромны (вспомним, что получение 1 кг мяса «стоит» 70 - 90 кг кормов), и, несмотря на их нетоксичность, они ведут к тяжелым последствиям для водных экологических систем. В составе сточных вод, содержащих органические вещества (не только от животноводства), присутствует масса биогенных элементов, в том числе азота и фосфора. В результате происходит массовое размножение организмов фитопланктона, в первую очередь синезеленых и бурых водорослей, а также интенсивное развитие высших водных растений. Эти организмы рождаются, отмирают, и масса органического вещества в

воде возрастает. Поскольку названные организмы являются аэробными и дышат кислородом, растворенным в воде, в скором времени они оказываются в условиях дефицита кислорода. Вода становится непригодной для жизни, в ней начинают преобладать анаэробные процессы. Этот процесс носит название эвтрофикации (рис.5.10). *Эвтрофикация* - это повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных или естественных (природных) факторов. Собственно анаэробные процессы представляют собой вторичное загрязнение воды. Эвтрофикация может быть также следствием смыва с полей азотных и фосфорных удобрений и попадания в воду легкоокисляемых минеральных соединений.

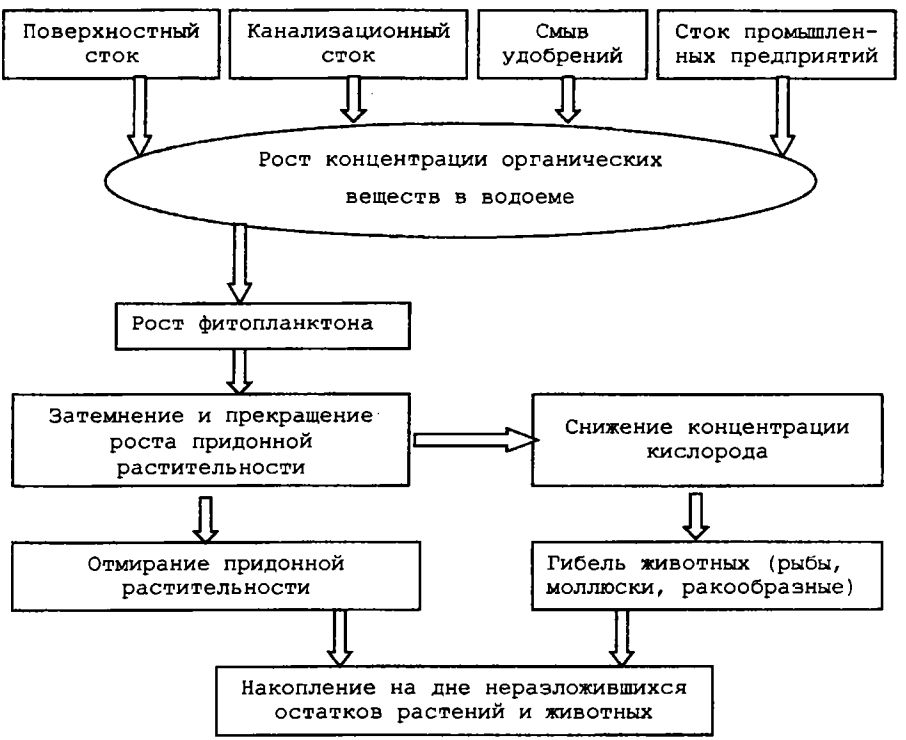

Рис. 5.10. Процесс эвтрофикации

Водоросли окрашивают воду в различные цвета, и поэтому данный процесс называют «цветением» водоемов. Под влиянием водорослей изменяется вкус воды, приобретается неприятный запах. В водоеме при отмирании водорослей развиваются гнилостные процессы. Бактерии, окисляющие органические вещества водорослей, потребляют кислород, создавая тем са-

мым его дефицит в водоеме. Вода начинает гнить, испускать аммиачное и метановое зловоние, на дне скапливаются черные липкие сероводородные отложения. В процессе разложения отмирающие водоросли выделяют также фенол, индол и другие ядовитые вещества. От недостатка кислорода, пищи и убежищ гибнут рыбы, моллюски, ракообразные. Вода в таких водоемах становится непригодной для питья.

Загрязняет и засоряет реки также молевой сплав леса. Экстрагированные из древесины вещества разлагаются в воде, поглощают кислород, вызывая гибель рыб. Уже в первые сутки сплава от недостатка кислорода гибнут икра и мальки рыб, нередко и кормовые беспозвоночные. Засорение рек усиливает сброс в них отходов лесозаводов - коры, опилок и др., которые скапливаются в больших количествах в заводях и протоках. Часть леса тонет, число оставшихся в воде бревен увеличивается из года в год. Кора и гниющая древесина отравляют воду, она становится «мертвой».

Кроме того, в природные воды различными путями из многих источников поступает ртуть, которая давно известна как яд. Во время дождя и таяния снега ртуть может смываться с промышленных площадок.

Спектр загрязняющих материковые воды веществ очень широк и включает в себя не только основные загрязнители морей и океанов, но и специфические загрязнители. Считается, что в водоемы поступает свыше 500 тыс. различных веществ. Тяжелые металлы (свинец, ртуть, цинк, медь, кадмий) активно накапливаются в пищевых цепях, конечное звено которых занимает человек. В качестве интегральной характеристики загрязненности материковых вод используются классы опасности качества воды (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Характеристики интегральной оценки качества воды

Индекс загрязненности воды (ИЗВ)	Класс качества воды	Оценка качества воды
Менее 0,2	I	Очень чистые
Более 0,2	II	Чистые
Более 1	III	Умеренно загрязненные
Более 2	IV	Загрязненные
Более 4	V	Грязные
Более 6	VI	Очень грязные
Более 10	VII	Чрезвычайно грязные

Строительство на реках гидроэлектростанций, водохранилищ нередко влечет за собой серьезные негативные экологические последствия:

- *затопление земель* (заливных высокопродуктивных лугов, лесных массивов, населенных пунктов);
- *повышение сейсмической активности* в некоторых районах из-за меняющегося уровня давления воды на литосферу;
- *подтопление берегов, заболачивание, оползневые процессы;*

- *снижение скорости течения реки, замедление водообмена и самоочищения;*
- *развитие синезеленых водорослей;*
- *сокращение стада ценных промысловых рыб;*
- *изменение микроклимата окружающей среды и т. д.*

Создание на реках водохранилищ замедляет обмен воды в них, а это существенно сказывается на их биологическом и химическом режимах. По многолетним наблюдениям, на реке Волге в результате перераспределения стока воды после образования водохранилищ минерализация после паводка протекала медленно, проявлялась вертикальная неоднородность в распределении органических веществ и биогенных элементов (азота, фосфора, кремния, железа), необходимых для жизни бактерий, водорослей, зоопланктона.

Еще один вид загрязнения природных вод - тепловое загрязнение. Промышленные предприятия, электростанции (ТЭС, АЭС) нередко сбрасывают в водоемы (водохранилища) подогретую воду, приводящую к повышению в них температуры. В водоемах с повышением температуры уменьшается содержание кислорода, увеличивается токсичность загрязняющих воду примесей, нарушается биологическое равновесие, происходит смена видового состава организмов, например водорослей. С повышением температуры в загрязненной воде наблюдается бурное размножение болезнетворных микроорганизмов и вирусов.

Важным источником пресной воды в ряде регионов России являются подземные воды. Однако подземные воды в последние годы также подвергаются техногенному загрязнению из-за сильного загрязнения поверхности земли и наземных водотоков. Нередко это загрязнение настолько велико, что вода из них непригодна для питья.

Большую опасность представляют загрязнения вод радиоактивными веществами. Поведение радионуклидов в водоемах значительно сложнее, чем в атмосфере, так как здесь на скорость их перемещения, направленность и характер рассеивания влияет значительно большее число факторов. Кроме того, в водоемах помимо рассеивания происходит и концентрирование радиоактивных веществ.

Распространение радионуклидов в воде осуществляется под влиянием двух факторов:

а) *физико-химических:* адсорбция, ионный обмен, осаждение, седиментация (осадок), флоккуляция (хлопьеобразование);

б) *биотических* - поглощение водными организмами непосредственно из воды, накопление некоторых из них как в организмах, так и в почве.

В некоторых случаях процессу накопления радионуклидов в донных отложениях способствуют бентосные организмы, которые при жизни интенсивно их инкорпорируют, а отмирая, отдают грунту.

По характеру распределения в водоеме радиоактивные изотопы могут быть разделены на четыре группы:

1) *гидротропные,* остающиеся в большом количестве в воде;

2) *биотропные,* интенсивно поглощающиеся живыми организмами;

3) *педотропные,* накапливающиеся преимущественно в донных отложениях;

4) *эвритропные,* равномерно распределяющиеся между различными составляющими водоема.

На поведение радиоактивных веществ в реках существенное влияние оказывают химический состав воды, степень ее минерализации, количество и характер взвешенных примесей. В реках, где взвешенные твердые частицы имеют тенденцию к оседанию в определенных местах, большая часть радиоактивных продуктов неравномерно задерживается на дне, создавая локальные очаги загрязнения.

Растворимость радиоизотопов, попадающих в морскую среду в виде глобальных выпадений или при подводном взрыве, не затрагивающем целостность донных отложений, значительно выше, чем в случае наземных взрывов. Так, при подводном взрыве в первые сутки растворимая фракция может состоять на 35 % из ионных частиц, количество которых к концу второй недели увеличивается до 60 %. Взвешенные твердые частицы способствуют образованию стабильных водных суспензий, при этом ухудшаются прозрачность и внешний вид воды, снижается активность фотосинтеза водных растений.

Загрязнение водных систем представляет большую опасность, чем загрязнение атмосферы, по следующим причинам:

1) процессы регенерации или самоочищения протекают в водной среде гораздо медленнее, чем в воздухе;

2) источники загрязнения водоемов более разнообразны;

3) естественные процессы, осуществляющиеся в водной среде и подвергающиеся действию загрязнений, более чувствительны сами по себе и имеют большее значение для обеспечения жизни на Земле, чем те, которые протекают в атмосфере.

Следует иметь в виду, что большинство загрязняющих веществ включается в биологический круговорот и в пищевые цепи. В конечном итоге они накапливаются в тканях рыб, животных (например, ртуть, ДДТ и др.). Возможность трансформации веществ в водной среде и избирательного накопления их живыми организмами всегда должна учитываться при решении вопроса об опасности того или иного химического загрязнения.

5.3.5. Меры по очистке и охране вод

Вода обладает чрезвычайно ценными свойствами непрерывного самоочищения и самовозобновления под влиянием солнечной радиации. Суть заключается в перемешивании загрязненной воды со всей ее массой и дальнейшем процессе минерализации органических веществ и отмирании внесенных бактерий. Агентами самоочищения являются бактерии, грибы и водоросли. Установлено, что в ходе бактериального самоочищения через 24 часа остается не более 50% бактерий, через 96 часов - 0,5%. Однако следует учитывать, что для обеспечения самоочищения загрязненных вод необходимо их многократное разбавление чистой водой. При сильном загрязнении

самоочищения воды не происходит. В этих случаях необходимы специальные методы и средства для улучшения качества воды, очистки загрязнений, поступающих со сточными водами, с отходами сельскохозяйственного производства.

5.3.6. Основные методы очистки сточных вод

Методы очистки производственных и бытовых вод можно подразделить на следующие группы: механические, физико-химические, химические, биологические и термические (рис. 5.11). По своей сути эти методы подразделяются на две группы. Первые предусматривают извлечение из сточных вод всех ценных веществ и последующую их переработку, а вторые - разрушение загрязняющих веществ путем их окисления или восстановления, в результате чего образуются газы или осадки.

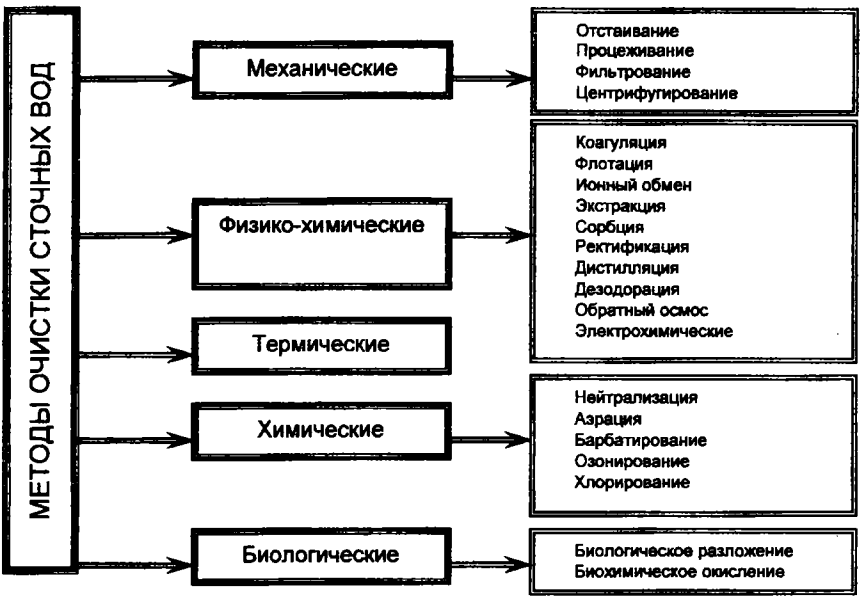

Рис. 5.11. Классификация методов очистки сточных вод

Сущность механического метода заключается в том, что из сточных вод путем отстаивания и фильтрации удаляются механические примеси. В зависимости от размеров грубодисперсные частицы улавливаются решетками и ситами различных конструкций, а поверхностные загрязнения - нефтеловушками, маслоуловителями, смолоуловителями и т. д. Механической очисткой можно достигнуть выделения из бытовых сточных вод до 60% нерастворимых примесей, а из производственных - до 95%.

Физико-химическая очистка состоит в добавлении к сточным водам химических реагентов, вступающих в реакцию с загрязняющими веществами и способствующих выпадению нерастворимых и частично растворимых

веществ. В качестве адсорбентов применяют естественные и искусственные материалы. Естественные - это глины, торф, а искусственные - активированные угли. Из физико-химических методов широко применяется очистка воды от загрязнителей хлорированием. Физико-химические методы очистки дают возможность уменьшить количество нерастворенных загрязняющих веществ сточных вод до 95% и растворенных до 25%.

Химические методы очистки применяются во многих отраслях промышленности для обработки производственных сточных вод, связаны с расходом различных реагентов и потому дороги. Их применяют для удаления растворимых веществ в замкнутых системах водоснабжения, а иногда и для дополнительной очистки сточных вод до или после биологической очистки. С помощью химической очистки наиболее часто удаляют ионы тяжелых металлов.

Механический, физико-химический и химические методы являются первыми этапами очистки сточных вод, после чего они направляются на биологическую очистку.

Методы биологической очистки применяют для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод от многих растворенных органических и некоторых неорганических (сероводорода, аммиака, сульфидов, нитритов и др.) веществ. Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать загрязняющие вещества для питания в процессе жизнедеятельности - органические вещества для микроорганизмов являются источником углерода. Биологическая очистка сточных вод может протекать в аэробных (биохимическое окисление) и анаэробных (биологическое разложение) условиях.

Перед сбросом в водоем очищенные сточные воды для ликвидации бактериального загрязнения проходят обеззараживание или дезинфекцию. Образующийся на всех стадиях очистки осадок или избыточная биомасса поступает на сооружения по обработке осадка. Очищенные сточные воды могут направляться в оборотные системы водообеспечения промышленных предприятий, на сельскохозяйственные нужды или сбрасываться в водоем. Обработанный осадок может утилизироваться, уничтожаться или складироваться.

Термическую обработку осадков (сжигание) производят тогда, когда их утилизация невозможна или нецелесообразна, а также когда отсутствуют условия для складирования, хотя после сжигания объем осадков уменьшается в 80 – 100 раз.

5.3.7. Основные способы улучшения качества воды

Способы улучшения качества воды, состав водоочистных сооружений и методов очистки зависят от требований, предъявляемых потребителем к качеству воды, и от состава исходной природной воды.

Основные способы улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых целей - осветление, обесцвечивание и обеззараживание.

Осветление воды - удаление из нее взвешенных веществ. В зависимости от требуемой степени осветления применяют отстаивание воды в отстойниках, в гидроциклонах, пропуская ее через слой ранее образованного взвешенного осадка, в осветлителях со взвешенным осадком, фильтрование воды через слой зернистого или порошкообразного фильтрующего материала в фильтрах или фильтрование через ткани и сетки.

Обесцвечивание воды - устранение или обесцвечивание различных окрашенных коллоидов или растворенных веществ. Для этого воду подвергают коагулированию, используют различные окислители (хлор, перманганат калия, озон) и сорбенты (активированный уголь).

Обеззараживание воды проводят для уничтожения содержащихся в ней болезнетворных вирусов и бактерий. Для этого чаще всего применяют хлорирование воды, бактерицидное облучение, озонирование и другие способы обеззараживания.

Для улучшения качества воды используют и специальные способы обработки как хозяйственно-питьевой, так и производственной воды, такие как дезодорация - удаление привкусов и запахов. При высоком содержании в воде железа или фтора может потребоваться ее обезжелезивание (или обесфторирование). Нередко с обезжелезиванием воды проводят удаление марганца.

5.3.8. Основные технологические схемы водоподготовки

Сочетание необходимых технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Общая схема как питьевого, так и технического водопроводов примерно одинакова (рис. 5.12). Отличаются они лишь тщательностью очистки воды до и после ее использования.

В практике водоподготовки технологические схемы подразделяют на реагентные (использующие для очистки воды химические реагенты) и безреагентные, по эффекту осветления, по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них, напорные и безнапорные.

Реагентные и безреагентные технологические схемы применяют при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей и для нужд промышленности. Данные технологические схемы существенно отличаются друг от друга по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации. С применением реагентов процессы обработки воды протекают интенсивнее и более эффективно. Для осаждения основной массы взвешенных веществ по реагентной технологии необходимо 2 - 4 часа, а без реагентов - несколько суток. Фильтрование с использованием реагентов проходит со скоростью 5 - 12 $м^3$/ч и более, а без реагентов (медленное фильтрование) - 0,1 - 0,3 $м^3$/ч. При обработке воды с применением реагентов водоочистные сооружения значительно меньше по объему, компактнее и дешевле, хотя и сложнее в эксплуатации.

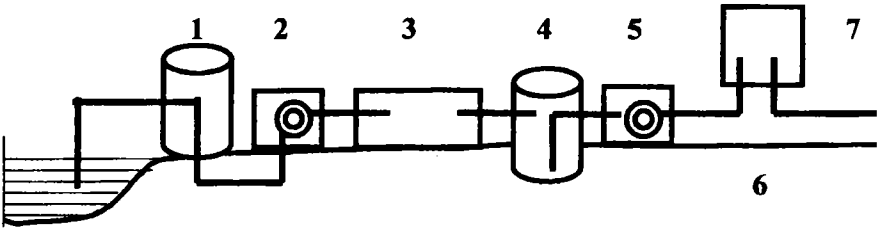

Рис. 5.12. Схема устройства водопровода и очистных сооружений:
1 – водозаборное устройство; 2 – насосная станция; 3 – очистные сооружения; 4 – резервуар чистой воды; 5 – насосная станция; 6 – водонапорная станция; 7 – местный водопровод

Безреагентные технологические схемы (с гидроциклонами, намывными и медленными фильтрами) обычно применяют для водоснабжения небольших водопотребителей. В этих случаях достаточно одного отстаивания или одного фильтрования на грубозернистых фильтрах.

По эффекту осветления подразделяют технологические схемы для полного (глубокого) и неполного (грубого) осветления воды. При полном осветлении очищенная вода отвечает требованиям питьевой, при неполном - содержание взвеси в очищенной воде во много раз больше (до 50 - 100 мг/л). Технологические схемы для глубокого осветления воды применяют для хозяйственно-питьевых и для многих промышленных водопроводов, где к качеству технической воды предъявляются высокие требования. Технологические схемы неполного осветления используются при подготовке технической воды.

По характеру движения обрабатываемой воды технологические схемы делят на безнапорные (самотечные) и напорные. На городских и крупных промышленных водопроводных станциях исходная вода движется по сооружениям самотеком. Уровень воды в каждом последующем сооружении должен быть ниже предыдущего уровня. Напор определяется разностью уровней. При безнапорном движении воды по очистным сооружениям необходимы две насосные станции и резервуары чистой воды (рис. 5.12).

При напорной технологической схеме обрабатываемая вода движется от сооружения к сооружению под давлением выше атмосферного. В связи с этим отдельные сооружения можно располагать на одной отметке. Напорные очистные сооружения должны быть герметично закрыты и рассчитаны на давление, развиваемое насосами. Иногда при использовании напорных технологических схем можно не устанавливать резервуары чистой воды и насосную станцию подъема. В отдельных случаях очищенная вода под напором насосов подъема передается непосредственно в сеть потребителям.

Выбор схемы очистки в конкретных условиях определяется показателями очищаемых вод, возможностью утилизации примесей и повторного использования очищенной воды для нужд производства. Отдельные виды промышленных сточных вод нуждаются в захоронении. Предоставление

недр для захоронения вредных веществ, отходов производства и сброса сточных вод допускается в исключительных случаях и при соблюдении специальных требований.

Как мы видели, существует большое множество способов и методов водоподготовки и очистки сточных вод. Не везде очистка воды производится одинаковым способом, поскольку в разных регионах действуют различные производства, а, кроме того, природные воды исходно содержат различные вещества, что требует использования различных схем очистки. Но существует набор типичных процедур, которые используются в системах очистки. Приведем типичную схему водоподготовки с использованием биологической очистки (рис 5.13).

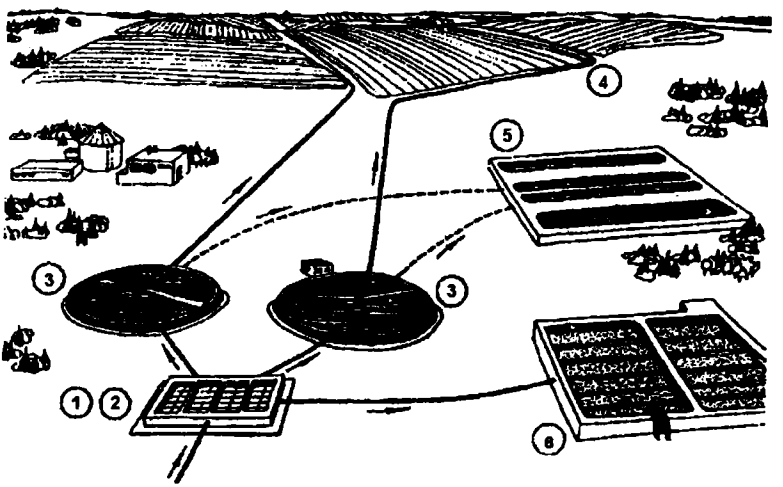

Рис. 5.13. Схема станции очистки сточных вод:
I - решетка; 2 - песколовка; 3 – двухъярусные отстойники; 4 – поля орошения; 5 – иловые площадки; 6 – песковые площадки

Биологическая очистка. После предварительной очистки вода становится прозрачной, незагнивающей, содержащей растворенный кислород и нитраты. Есть несколько типов биологических устройств по очистке сточных вод: биофильтры, аэротенки и биологические пруды. В биофильтрах сточные воды пропускаются через слой крупнозернистого материала, покрытого тонкой бактериальной пленкой. Эта пленка является действующим началом в биофильтрах. Благодаря ей интенсивно протекают процессы биохимического окисления.

Очищающее начало аэротенков - активный ил из бактерий и микроскопических животных. Источниками питания и бурного развития организмов активного ила служат загрязнения сточных вод органическими веществами и избыток кислорода, поступающего в сооружение потоком подаваемого воздуха. Бактерии склеиваются в хлопья и выделяют ферменты, мине-

рализующие органические загрязнения. Ил с хлопьями быстро оседает, отделяясь от очищенной воды. Мельчайшие животные (инфузории, жгутиковые, амебы, коловратки и др.), пожирая бактерии, не слипающиеся в хлопья, омолаживают бактериальную массу ила. Следует отметить, что уже через несколько минут после контакта ила со сточной водой обычно концентрация в ней органических веществ снижается более чем наполовину. В целом содержание органического вещества в стоках в результате прохождения через аэротенки сокращается на 90%.

В естественных условиях для биологической доочистки сточных вод используют биологические пруды и поля орошения или поля фильтрации. *Биологические пруды* - это неглубокие земляные резервуары, в которых происходят те же процессы, что и при самоочищении водоемов. Они работают при температуре не менее 6°С. Обычно водоемы устраивают в виде 4 - 5 серий на местности, имеющей уклон. Их располагают ступенями так, что вода из верхнего пруда самотеком направляется в нижерасположенный. Поля фильтрации предназначены только для биологической доочистки сточных вод. На полях орошения одновременно с очисткой вод производится выращивание кормовых сельскохозяйственных культур или трав.

Устранение неприятного вкуса и запаха. Такие качества, как вкус и запах, присущие воде в некоторых населенных пунктах до очистки, могут сделать ее неприемлемой для потребителей, поэтому следует улучшить ее качество. Причинами неприятного вкуса и запаха могут быть:

1. Растворенный в воде сероводород. Этот газ чаще всего содержится в воде, получаемой из скважин.

2. Мертвые разлагающиеся органические вещества, вымываемые водой из водорослей или водных растений. Такие вещества нередко содержатся в воде водохранилищ.

3. Химические соединения, применяемые в сельском хозяйстве для уничтожения сорняков и насекомых - вредителей, а также химические вещества, содержащиеся в промышленных сточных водах.

Методы, обеспечивающие приятный вкус и запах используемой воды, можно разбить на две группы:

- *предотвращающие* рост и развитие водорослей и водных растений;
- *устраняющие* имеющиеся вкус и запах.

С целью предупреждения роста водорослей и водных растений в накопительный резервуар можно добавить различные химические вещества. Ранее полагали, что для этого приемлемы гербициды, но сейчас эта идея отвергнута. Единственный гербицид, применение которого не вызывало никаких возражений, но который так никогда и не применялся, оказался канцерогенным. Это соединение - линдан.

При обработке самих растений вкус и запах могут быть устранены посредством аэрации или с помощью химических веществ. Вода из рек, озер или колодца в ходе очистки часто подвергается аэрации. Аэрация в виде разбрызгивания или пропускания через сетку способствует удалению из воды растворенных в ней газов (например, сероводорода). Удалив сероводород (запах которого нам хорошо знаком по запаху тухлых яиц), можно

считать, что вода уже не имеет запаха.

Первое хлорирование. После аэрации в воду добавляют газообразный хлор для уничтожения болезнетворных организмов. Хлорирование повторяется несколько раз как завершающий этап после всех стадий очистки воды.

Осветление воды. Мельчайшие взвешенные в воде частицы, которые придают ей тот или иной цвет, практически не растворяются и не оседают быстро на дно; частицы, обладающие такими свойствами, называют *коллоидными.* Для того чтобы лучше понять свойства коллоидов, можно провести эксперимент. Всыпьте чайную ложку плодородной земли (гумуса) в трехлитровую банку с чистой водой и взболтайте. Обратите внимание, что свет уже не так свободно проходит через такую воду. Отметьте, что частицы гумуса окрасили воду в желтовато-коричневый цвет. Эти частицы можно удалить из воды посредством процесса, именуемого *коагуляцией.*

На первом этапе коагуляции в воду, протекающую через установку, непрерывно добавляют либо квасцы, либо сульфат железа. При этом в воде образуется хлопьевидный осадок, состоящий из минеральных частиц, не растворимых в воде. Эти хлопья по виду напоминают перистые облака в миниатюре, они перемешиваются с взвешенными в воде частицами, захватывают их и опускаются на дно.

После этого вода медленно перекачивается в отстойник. Здесь она отстаивается достаточно долгое время, для того чтобы большая часть хлопьев и отстоя осела и осталась на дне. В процессе оседания густые хлопья захватывают и увлекают за собой вниз большую часть частиц, взвешенных в воде. Осадок осторожно, стараясь не взмучивать его, удаляют со дна при помощи скребка.

Вода, выходящая из отстойника, оставляет в нем достаточную часть имевшейся в ней мути. Эти предварительные этапы очистки, удаляя сравнительно крупные частицы, которые могли бы засорить фильтр, обеспечивают эффективность следующего этапа, а именно фильтрования через слой песка.

На многих водоочистных станциях в воду одновременно с сульфатами аммония или железа на первой стадии коагуляции добавляется небольшое количество крошки активированного угля. Уголь хорошо связывает коллоидные частицы, находящиеся в воде. Когда на более поздних этапах очистки уголь удаляют из воды, вместе с ним удаляется и большая часть коллоидных частиц, придающих воде цвет. Обработка активированным углем не только обесцвечивает воду, но и значительно улучшает ее вкус и запах.

Фильтрование воды через слои гранулированного активированного угля в настоящее время используется для устранения загрязнений, содержащихся в незначительных количествах, но достаточно опасных, таких как пестициды и другие устойчивые органические соединения. Некоторые из этих соединений являются потенциальными канцерогенами.

Фильтрация для удаления микроорганизмов. После освобождения от хлопьев вода пропускается через слой песка. Песок в каждом из последовательных слоев (если смотреть сверху вниз) становится все крупнее. Удаление относительно крупных частиц, осуществляемое путем коагуляции,

предотвращает быстрое загрязнение песчаных фильтров. Фильтрование через песок обеспечивает дальнейшее удаление частиц из воды; однако основная задача фильтра - это захват и удержание бактерий, вирусов и других микроорганизмов. В результате такой фильтрации большая часть болезнетворных микроорганизмов не попадает в водопроводную сеть, распределяющую чистую воду.

Периодически песок в фильтрах промывается, для того чтобы сохранить его способность эффективно задерживать микроорганизмы. Чем мутнее вода, поступающая в фильтр, тем необходимо чаще повторять процедуру его очистки. Все перечисленные этапы очистки - аэрация, хлорирование, коагуляция и осаждение - схематически представлены на рис. 5.12, 5.13.

Заключительное хлорирование. Несмотря на высокую эффективность песчаных фильтров для удаления из воды микробов и вирусов, полностью вода от них не освобождается. Дополнительный этап очистки - второе хлорирование воды - разрушает любые микроорганизмы, остающиеся после фильтрования через песок. Хлор также взаимодействует с аммиаком, который может содержаться в воде. Хлор добавляется в избытке по сравнению с уровнем, при котором погибают все микроорганизмы, а также уровнем, необходимым для взаимодействия с присутствующим в воде аммиаком. Это приводит к появлению «свободного» (т. е. непрореагировавшего) хлора в растворе. Одна из причин того, что хлорирование предпочтительно в качестве дезинфекции общественных источников воды, состоит в том, что избыточный или остаточный хлор еще длительное время обнаруживается в воде. А это означает, что если в воде присутствует свободный хлор, можно быть уверенным, что любые новые микроорганизмы, попавшие в воду, также погибнут. Для того чтобы выполнить такой тест, в воду, взятую из плавательного бассейна или из водопроводного крана, добавляют небольшое количество крахмала и несколько кристаллов йодистого калия. Свободный хлор замещает йод в йодистом калии с выделением свободного йода (сам хлор одновременно превращается в ион хлора). Свободный йод в присутствии крахмала создает характерную сине-фиолетовую окраску, которая свидетельствует о том, что свободного хлора достаточно, чтобы окислить ионы йода. Этот йод-крахмальный тест указывает также, присутствует ли свободный хлор в концентрации, достаточной для разрушения болезнетворных бактерий, и безопасна ли питьевая вода.

Озонирование как альтернатива хлорированию. Одной из альтернатив процессу хлорирования воды является ее обеззараживание при помощи озона. Процесс озонирования, как и процесс хлорирования, осуществляется просто путем контакта воды с газом. Озон - весьма сильный окислитель, разрушающий бактерии и вирусы. В отличие от хлорирования, при котором хлор может соединяться с углеводородами, содержащимися в воде, при озонировании хлорированных углеводородов не образуется; напротив, озон может разрушать присутствующие в воде углеводороды путем их окисления. Более того, озон сам по себе эффективен при обесцвечивании воды и не создает по-

стороннего привкуса и запаха.

Озонирование источников воды уже практикуется в ряде европейских стран, однако в России в подавляющем большинстве водоочистных установок используется хлорирование, а озонирование применяется компаниями, которые выпускают питьевую воду в бутылках. Они предпочитают этот метод обеззараживания, чтобы исключить привкус хлора в воде, который многие отождествляют со вкусом воды в городских водопроводах. В Лос-Анджелесе на новой большой очистной станции в качестве первичного средства обеззараживания недавно начали использовать озонирование. Эта станция обеспечивает питьевой водой до 80% жителей города с населением 2,8 млн. Однако на заключительной стадии обработки воды все еще используется хлорирование. В Нью-Йорке озонированию подвергается часть воды, поступающей в городскую сеть из Кротоновского водохранилища. В 1982 г. в США уже работали или вводились в строй около 50 станций, использующих озон для обеззараживания питьевой воды.

При озонировании в обработанной воде не остается никаких следов свободного озона, даже если он добавляется в количестве, избыточном для обеззараживания воды и окисления вредных соединений. Полное отсутствие остаточного озона в воде не означает, что в воде нет бактерий и вирусов. Единственный способ проверить, безопасна ли вода для питья, это провести тест на присутствие бактерий, который занимает 24 часа. Более того, при любом попадании в воду болезнетворных бактерий и вирусов они не погибнут, поскольку в воде отсутствуют какие-либо обеззараживающие агенты. Для защиты от таких повторных попаданий бактерий и вирусов в водораспределительные системы необходимо использовать дополнительное обеззараживающее средство, скорее всего хлор, на заключительном этапе очистки воды.

Тот факт, что при озонировании воды в ней отсутствует остаточный озон, является серьезным препятствием к его применению. Другая причина настороженности при его использовании состоит в том, что продукты реакций озона с органическими веществами, содержащимися в воде, до сих пор не идентифицированы, хотя были обнаружены альдегиды и некоторые другие простые органические соединения. Процесс же хлорирования воды, если рассматривать его в аспекте воздействия на человека, постоянно подвергается критике, поскольку хлор взаимодействует с углеводородами, растворенными в воде. Некоторые из хлорированных углеводородов, образующихся при подобных реакциях, оказываются канцерогенными.

5.4. Разрушение и загрязнение почвенного покрова

Почвенный покров Земли, подобно атмосфере и гидросфере, является составной частью планеты, средой обитания разнообразных живых организмов. Учитывая тесную связь и взаимодействие всех трех сред между собой, следует ожидать, что почва также подвергается разного рода загрязнениям. Процессы и явления, снижающие почвенное плодородие, разрушающие земельные ресурсы, уменьшающие площадь сельскохозяйственных земель, с некоторой условностью можно разделить на четыре группы.

1. Природные процессы, неблагоприятное воздействие которых на почвенный покров предотвратить нельзя. Это землетрясения, извержения вулканов, карсты, оплывание почв на склонах и т. д.

2. Природные процессы, которые человек может в какой-то мере предотвратить или уменьшить их неблагоприятное воздействие на почву. В некоторых случаях хозяйственная деятельность человека активизирует проявление этих природных процессов.

3. Природные процессы, интенсивное проявление которых во многом обусловлено неразумной хозяйственной деятельностью человека. Это в первую очередь, интенсивный смыв и размыв почвы поверхностным стоком временных водных потоков и погребение плодородных почв балок и долин продуктами эрозии - менее плодородными наносами. Интенсивное выдувание почв и погребение плодородных почв навеянным слоем менее плодородных наносов. Занос почв подвижными песками. Вторичное засоление почв, связанное с избыточным поливом, особенно без дренажа, в аридной зоне, при высокой минерализации грунтовых вод. Заболачивание почв вследствие подъема грунтовых вод, вызванного ростом русловых наносов, заполнением водохранилищ и другими причинами.

4. Явления, целиком связанные с хозяйственной деятельностью человека. Это в первую очередь загрязнение почв токсическими выбросами, поступающими в атмосферу при работе промышленных предприятий и транспорта. Разрушение почвенной структуры и очень сильное уплотнение почв в результате чрезмерной обработки почв, особенно тяжелыми машинами. Снижение плодородия от неправильного применения удобрений и пестицидов. Смещение по склону верхнего слоя почвы при вспашке холмистых возвышенностей плугами с односторонним отвалом пласта вниз по склону. Разрушение почвы пастбищных склонов при интенсивной нерегулируемой пастьбе скота. Разрушение почв при трелевке леса. Разрушение почвенного покрова при разработке месторождений полезных ископаемых. Пересушивание почвы при неправильном проведении осушительных мероприятий. Необоснованное отчуждение ценных сельскохозяйственных земель для использования в других отраслях народного хозяйства.

Приведенное разделение относительно. В связи с особенностями природных условий территории и хозяйственного использования земель некоторые процессы из первой группы могут быть перенесены во вторую и даже в третью и наоборот. В разных регионах влияние этих процессов на уровень снижения плодородия почв и разрушения земель различно. В одних районах самым главным бичом является вторичное засоление почв, в других - заболачивание, в третьих - занос сыпучими песками, в четвертых - разрушение почв оползнями. Следовательно, в различных зонах должны применяться и разные меры по охране почв от воздействия неблагоприятных процессов, ведущих к снижению плодородия почв, к разрушению земель.

Например, для южного Зауралья, для многих районов Сибири главной опасностью для почв является дефляция. Для северо-западных регионов России основная беда - переувлажнение почв, их заболачивание. Из всех неблагоприятных процессов наиболее губительными в целом для страны являются водная и ветровая эрозия (дефляция) почв.

5.4.1. Эрозия почв

Термин «эрозия» происходит от латинского глагола erodere - разъедать. Эрозия представляет собой разрушение и снос почвенного покрова (порой и почвообразующих пород) потоками воды или ветром. Иногда слой почвы, на образование которого ушло 100—200 лет, уничтожается за несколько дней под влиянием сильных ливней или пыльных бурь. По степени подверженности эрозии земли разделяются на категории: I - лучшие и хорошие, не подверженные эрозии; II - хорошие и средние, подверженные слабой эрозии; III - хорошие и средние с сильной эрозией; IV - средние и плохие, ограниченно годные для земледелия; V - пригодные для сенокоса и ограниченно под пастбища; VI - пригодные только для лесоразведения; VI - неудобные земли.

На планете потеряно плодородие 600 млн. га сельскохозяйственных земель. Особенно подвержены эрозии почвы под парами, под пропашными культурами (кукуруза, корнеплоды, капуста, виноград) или почвы со слабосвязанной структурой.

Водная эрозия широко распространена и наиболее разрушительна. Она возникает на склонах, развивается при неправильной обработке земли. Это, как правило, прямое следствие неправильного обращения с землей. Специалисты выделяют три вида водной эрозии - поверхностную, струйчатую и овражную (рис. 5.14).

В результате плоскостного смыва прежде всего разрушается почва с разреженным растительным покровом. Как показывает сам термин, при этом постепенно и понемногу смывается поверхностный слой почвы. Начинается с того, что капли дождя, ударяясь о землю и разбрызгиваясь, увлекают за собой мелкие частицы почвы, которые, удерживаясь в воде в подвешенном состоянии, забивают поры почвы жидкой грязью, создаются грязевые потоки, сте-

кающие с поверхности. В случае поверхностной эрозии вода движется вниз по склону широкой лентой. Частицы почвы могут нестись вместе с потоком, перекатываясь по земле, или находиться в этом потоке во взвешенном состоянии; это зависит от размеров частиц и скорости потока. Поскольку поверхностная эрозия захватывает большие площади, поначалу ее можно не заметить, а обратить на нее внимание только тогда, когда уже нанесен значительный ущерб. Например, если в сельскохозяйственном предприятии имеется 10 тысяч гектаров пахотных земель, расположенных на склонах, то при годовом смыве 30 тонн почвы с гектара (слой почвы 3,5 мм) общая потеря почвы составит 300 тыс. тонн. Это 100 тысяч трехтонных автомашин, нагруженных почвой. При содержании в пахотном слое 4% гумуса (есть черноземы, в которых содержание гумуса достигает 10%) общая годовая потеря его составит 12 тыс. тонн. В этой почве содержится около 600 тонн азота. Для того чтобы компенсировать такое количество гумуса и азота, потребуется вывезти на поля 40—60 тыс. тонн навоза. При содержании в почве 0,2% фосфора и 2% калия при таком количестве смываемой почвы ежегодная потеря фосфора составит 600 и калия 6 тыс. тонн.

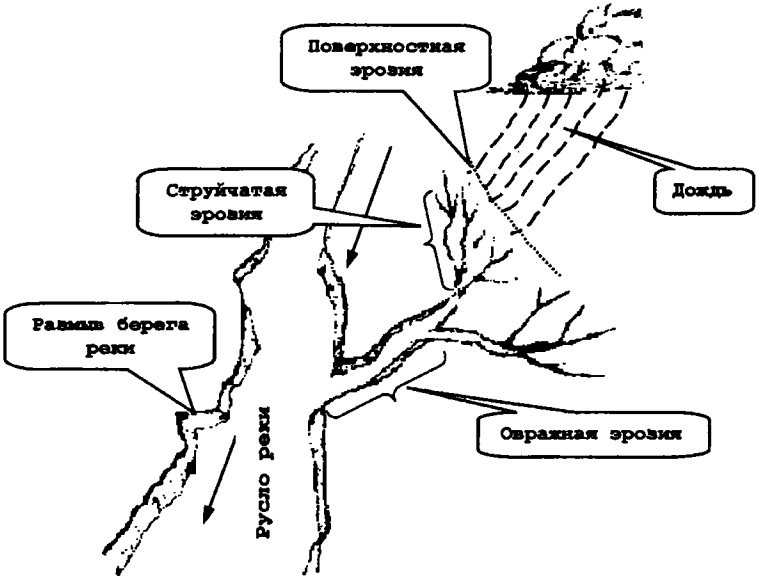

Рис. 5.14. Типы водной эрозии

Струйчатая эрозия, или донный размыв, развивается во время дружного таяния снегов весной и при сильных ливнях летом. Вместе с талыми и дождевыми водами с полей ежегодно сносится в реки и моря тысячи тонн почвы, в которой содержатся биогенные (питательные) элементы - азот, фосфор, калий

и др. При струйчатой эрозии вода собирается в ручейки (рис. 5.14). Протекая с большой скоростью по узким миниатюрным долинам, ручейки приобретают все большую эрозийную силу. Однако из-за того, что ручейки очень малы и легко засыпаются землей, сравниваясь с поверхностью, на поле их можно не заметить. Не исключено, что кому-нибудь из вас приходилось видеть струйчатую эрозию где-нибудь на строительной площадке: кучи свежевырытой земли прорезаются глубокими трещинами. В отличие от поверхностной и струйчатой эрозий овражную эрозию не заметить практически невозможно. Ручьи сливаются в такие мощные потоки, что их нельзя разровнять даже трактором.

Образование оврагов происходит в том случае, когда струйчатая эрозия не ограничивается почвой, а захватывает и материнские породы, проникая до твердых подстилающих пород. Если размыву ничто не препятствует, он превращает мелкие промоины в более глубокие, которые постепенно растут и превращаются в овраги. Овраги похожи на обыкновенные реки с земляными берегами, но если в реках вода течет постоянно, то в оврагах она появляется только после ливней; другое время они стоят сухими. Берега оврагов обычно образованы рыхлой почвой, которая легко размывается и уносится потоком воды. Нередко по краям пласты почвы нависают над оврагом. Нависшая почва, будучи непрочно связанной со стенками оврага, часто обрушивается на дно, ускоряя таким образом процесс эрозии.

Таблица 5.5

Экономические показатели использования эродированных почв в 2000 г.

Показатели	Почвы			
	несмытые	слабо-смытые	средне-смытые	сильно-смытые
Урожай зерновых, ц/га	10,80	9,30	7,40	5,10
Затраты труда на 1 ц, в чел/днях	0,15	0,18	0,22	0.33
Издержки производства на 1 га, руб.	32,84	34,82	36,63	39,11
Себестоимость 1 ц зерна, руб.	3,04	3,75	4,87	7,66
Стоимость продукции с 1 га, руб.	59,40	51,20	40,60	28,,10
Прибыль (+) или убыток (-) на 1 га, руб.	+26,56	+16,38	+3,97	-11,01

Водная эрозия почв отрицательно сказывается на всех экономических показателях земледелия. Приведем экономическую характеристику одного из совхозов Волгоградской области (табл. 5.5). Из таблицы видно, что урожай

зерновых на сильноэродированных почвах вдвое ниже, чем на почвах, не затронутых эрозией. В связи с этим в расчете на центнер зерна пропорционально увеличиваются и затраты труда, а также общая сумма издержек производства вообще.

При изучении хозяйств, расположенных в различных почвенных зонах, установлено, что черноземы при возрастании смыва теряют плодородие в меньшей степени, чем каштановые и серые лесные почвы. Если на сильносмытых черноземах урожайность снижается в среднем на 52%, то на каштановых - на 72,6%, а на серых лесостепных почвах - на 81,2%.

Снижение урожайности и рост издержек производства на смытых почвах увеличивают себестоимость 1 ц зерна на черноземах в 2,8 раза, на каштановых почвах - в 4,6 раза и на серых почвах — в 6,9 раза. Производство зерна на сильносмытых черноземах и каштановых почвах становится нерентабельным. На серых лесных почвах земледелие убыточно даже при средней их смытости. Кроме того, зерно, например, пшеницы с эродированных полей меньше содержит белка, крахмала, клейковины, микроэлементов и может являться причиной различных заболеваний человека.

Борьба с водной эрозией почв ведется разными способами. Наиболее распространенный и эффективный противоэрозионный прием, обеспечивающий резкое сокращение стока воды, - глубокая пахота. В этом случае почва больше вбирает в себя воды и дольше ее удерживает. Растения на такой почве глубже пускают корни, имеют больший запас пищи, поэтому они быстрее развиваются и лучше защищают почву от смыва.

Глубокая вспашка сокращает поверхностный сток и повышает урожай сельскохозяйственных культур. Например, на южных черноземах в Волгоградской области при вспашке почвы на глубину 20 - 22 см урожай озимой пшеницы составил в среднем 16,3 ц с 1 га, при вспашке на 25 - 27 см - 18 ц, а при углублении вспашки до 32 см пшеница дала 22 ц с гектара. Опытная вспашка склона крутизной в 2° на глубину 40 см в Каменной степи (Воронежская область) уменьшила поверхностный сток на 46,3%.

На склоновых землях, потерявших в результате смыва значительную часть гумусного слоя, часто нельзя проводить глубокую вспашку обычными плугами, так как они выворачивают на поверхность подстилающие породы, отчего почва теряет структуру и обесценивается: урожаи на таких участках резко снижаются. В последнее время на вспашке склонов используют плуги, которые оборачивают пласт только в пределах гумусного слоя, а нижележащие слои рыхлят.

Во всех районах проявления водной эрозии простейший и доступный прием ослабления поверхностного стока и повышения урожаев - обработка почвы и размещение сельскохозяйственных культур поперек склонов. Поперечная вспашка и другие виды обработки почвы эффективны лишь на сравнительно пологих склонах. С увеличением же крутизны они теряют противо-

эрозионное значение. Более того, при уклонах, превышающих 5 - 12^0, поперечная вспашка может даже усилить эрозию. Это связано с тем, что прямолинейные тракторные гоны на сложном рельефе могут в значительной части совпадать с направлением вторичных склонов или лощин. В таких случаях применяют так называемую контурную обработку, при которой агрегат идет по склону не прямолинейно, а по горизонталям.

В борьбе против эрозии почв большое значение придается почвозащитным севооборотам. Ученые института земледелия рекомендуют под почвозащитные севообороты отводить склоны крутизной 4 - 12^0, менее пригодные для возделывания пропашных культур. Под лугопастбищные почвозащитные севообороты рекомендуются более крутые (10 - 20^0) склоны, сильно подверженные эрозии. Срок пребывания трав в этих севооборотах должен быть не менее 5 лет. Крутые склоны со смытыми и размытыми почвами, непригодными для посева трав, отводят под лесные насаждения.

Для борьбы с оврагообразованием успешно применяют простейшие гидротехнические сооружения (лотки, водозадерживающие и водоотводные валы и пр.), а также посадку кустарников и деревьев. Кроме полезащитных и приовражных высаживают почвозащитные леса. Для борьбы с любым видом эрозии почвы нужно всегда применять комплекс противоэрозионных мероприятий. Ни одна мера в отдельности не обеспечивает успеха.

Сель. Разновидность водной эрозии в горах - сель (от арабского сейль - бурный поток). Сели, в сущности, представляют тот же смыв почвы, но протекающий вследствие большой крутизны склонов и узости ущелий очень бурно. Если в горах вырубается лес или на обнаженных склонах чрезмерно долго пасется скот, почва становится неустойчивой. Особенно ослабляют ее тропы скота, разрезающие дернину на бесчисленные узкие полоски. При ливнях почва срывается вместе с остатками дерна, увлекая за собой щебень и обломки скал. Все это несется вниз, где образовавшаяся густая грязь, насыщенная камнями, подхватывается потоком и по ущелью выносится на предгорную равнину. Селевые потоки обладают страшной силой. Много раз они разрушали целые кварталы городов, сносили леса, заливали грязью поля и сады. От них не раз страдали Алма-Ата и Ереван.

В Крыму сель, прошедший в июне 1956 г. в бассейнах рек Ай-Серез, Ворон и Шелен, повредил и уничтожил виноградники и сады, нанеся большой ущерб.

Лучшее средство защиты от селей - облесение селесборных бассейнов, запрещение или ограничение выпаса и горных выработок в их пределах. Одновременно в руслах и на конусах выноса селей должны сооружаться капитальные защитные гидротехнические сооружения, отводящие каналы, поглотительные котловины, защитные дамбы, селепроводы и т. п.

Береговая эрозия. Движущаяся в реке вода производит большую работу: размыв поверхности суши (эрозия), перенос твердых частиц и раствора

продуктов эрозии и сбросов (транзит) и отложение этих частиц в пойме в русле или в море, куда впадает река (аккумуляция). С точки зрения охраны почв особенный интерес представляют процессы размывания берегов (береговая эрозия), смыв почв во время половодья в пойме и отложение песка, ила в пойме и в реке.

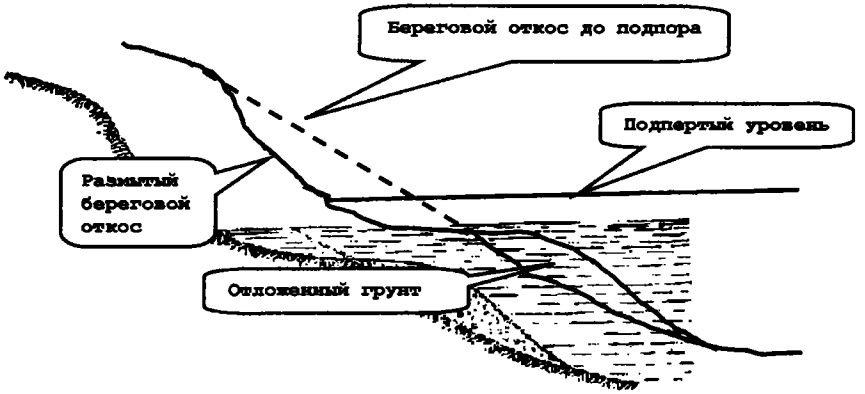

Рис. 5.15. Схема формирования берега водохранилища

Береговая эрозия - геологический процесс, происходящий без влияния человеческой деятельности. При размывании берегов (рис. 5.15) действуют две главные физические силы. Первая - инерция воды, возникающая при вращении земного шара: реки, текущие в меридиальном направлении (с севера на юг или с юга на север), подмывают западный берег, и тем больше, чем выше скорость линейного движения данной точки поверхности Земли, т. е. чем ближе река к экватору. Этим определяется крутизна западных и отлогость восточных берегов крупнейших рек европейской части страны. Вторая сила имеет еще большее значение в размыве берегов - это центробежная сила воды, возникающая при искривлении русла реки. Эта сила вызывает S-образное искривление русла (меандры) и образование речных стариц. Она действует тем сильнее, чем быстрее течение реки и чем менее прочен грунт. Например, Амударья нередко смывала поля, сады, населенные пункты. В 1960—1961 гг. река размыла берег близ одного из крупных оросительных каналов и, продвинувшись за короткое время на километр, стала вдвое ближе к каналу.

Особенно важно сохранение богатых пойменных почв. Знаменитые пойменные луга, на базе которых развивалось животноводство в Средней России, расположены на плодороднейших почвах. Травы, кустарники замедляют течение воды в половодье, и муть, в том числе и биогенные вещества, оседает, т. е. ежегодно пойменные луга получают во время весеннего полово-

дья, а иногда и в паводок летом, удобрение в виде оседающей мути и хорошее увлажнение почвы. Дернина удерживает почву от размывания.

При распашке пойменных земель возникает опасность их смыва в разлив. Для того чтобы не лишиться плодородной почвы, на осваиваемых поймах оставляют поперечные полосы целины, создают кулисы из кукурузы, подсолнечника, которые оставляют до разлива, высаживают кустарниковые полосы поперек течения воды. При большой эрозии в пойме возможно только полосное земледелие.

Аллювиальные процессы могут резко ухудшить почву поймы. Аллювий (наносы) образуется у низкого берега реки одновременно с размыванием высокого. Наносы, создаваемые речной водой во время весенних или ливневых разливов, в значительной мере определены деятельностью человека, поскольку мутность воды зависит от процессов эрозии на полях в бассейне реки.

Закрепляют берега рек, отмелей, создают кулисы в пойме обычно посадкой различных кустарников, чаще всего разных видов ив. Там, где близок уровень реки и, следовательно, грунтовые воды, даже на песчаных отмелях хорошо растет облепиха - один из ценнейших дикорастущих ягодников.

Режим твердого стока резко меняется на реках с регулированным стоком, т. е. имеющих плотины. Водохранилища становятся отстойниками, в которых на дно оседает муть реки. При этом происходит заиление дна водохранилища.

Ветровая эрозия почвы. Ветровая эрозия, иначе дефляция (от латинского deflare - сдувать), наиболее сильно проявляется в южных степных районах нашей страны, ее влияние на продуктивность почвы схоже с влиянием водной эрозии.

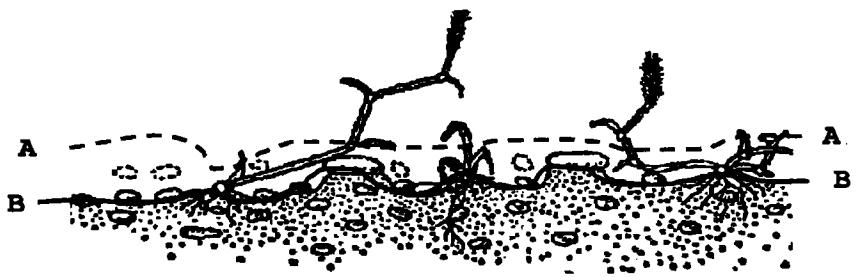

Рис. 5.16. Ветровая эрозия на поле ржи:
А-А – первоначальный рельеф пашни после посева ржи; В-В – микрорельеф того же участка пашни, измененный ветровой эрозией

Ветром уносятся легкие и хорошо структурированные почвы с высоким содержанием органического вещества, а на поверхности остается грубодисперсная, плохо впитывающая влагу подпочва (рис. 5.16). Однако влияние

ветровой эрозии на хозяйственную деятельность человека значительно более разнообразно, чем водной. Особенно ужасны пыльные бури, когда ветер подхватывает и переносит на огромные расстояния огромные массы частиц почвы. Описан случай, когда каждый кубический километр воздуха нес в себе 455 т почвенных частиц. Ежегодная потеря почвы в результате ветровой эрозии оценивается более чем в 17,5 т на 1 га. Людям и домашним животным во время пыльных бурь становится трудно дышать, у них развиваются респираторные и глазные заболевания. Сельскохозяйственные культуры, особенно всходы, не выдерживают таких условий. В тридцатых годах в США на Среднем Западе разразилось сразу несколько жесточайших пыльных бурь, приведших в итоге к серьезной потере почвы. После этого юг Великих Равнин прозвали «пыльной чашей». Очевидно, что возникновение пыльных бурь обусловлено сочетанием определенных условий, а именно: ветра, погоды и структуры почвы.

Пыльные бури - события особые и примечательные, тогда как выветривание почвы - явление обычное и широко распространенное. Последствия выветривания сходны с последствиями пыльных бурь, только происходит все гораздо медленнее и не столь драматично. Частицы почвы ранят листья растений, что может привести к снижению урожая. Если корни растений оказываются обнаженными, то урожай погибает (рис. 5.16). Почва лишается своей самой богатой части.

Классическим примером ветровой эрозии в результате неправильного использования земли стали пыльные бури 30-х годов на центральных равнинах Америки. В естественном состоянии, несмотря на малое количество осадков и сильные периодические засухи, прерии были покрыты травянистой растительностью. Переселенцы с Востока распахали прерии и начали выращивать пшеницу. При достаточном количестве осадков они получали хорошие урожаи, но в сухие годы посевы погибали и разыгрывались пыльные бури. После катастрофических пыльных бурь 1934 и 1935 г. стало ясно, что на большей части района пыльных бурь нельзя выращивать сельскохозяйственные культуры, требующие ежегодной вспашки.

Ветровая эрозия, черные бури свойственны лишь обнаженной, сухой, распыленной почве. Поскольку ветровая эрозия - явление, угрожающее территориям с низким и неустойчивым количеством осадков, человек способствует его ускоренному протеканию только в тех случаях, когда он нарушает или ослабляет своей деятельностью защитный покров растительности и уменьшает способность почвы поглощать и задерживать влагу. Ветровая эрозия может возникнуть на любом поле, лишенном растительного покрова, в том числе и на поле, где только что появились всходы культурных растений.

Развевание почвы может быть также следствием чрезмерного выпаса скота: разбивается копытами дернина, изменяется структура почвы, уменьшается из-за ее уплотнения влажность (явление пасторальной дигрессии).

При ветровой эрозии ветер обычно перемещает по поверхности мелкие комочки почвы (менее 1 мм в диаметре). При усилении ветра эти комочки не только перекатываются по поверхности поля, но и перебрасываются в приземном слое воздуха скачками, каждый раз на 3 - 4 м. Такое перекатывание и перемещение напоминает зимнюю поземку, когда ветер гонит снег по полю. Комочки почвы, переносимые воздушным потоком, приобретают значительную разрушительную энергию. Металлическая стальная полированная пластина, поставленная на поле во время такого ветра, через час становится матовой от нанесенных ударов, а с бортов автомашин, попавших в бурю, сдирается краска. Попадая на всходы растений, комочки почвы засекают их и практически полностью уничтожают.

Скачкообразно перемещающиеся комочки почвы, падая на поверхность поля, выбивают пылеобразные частицы, их подхватывает ветер и переносит на огромные расстояния, иногда на сотни и тысячи километров. Пыльное облако, поднимающееся и несущееся над полями, где почва разрушается ветром, носит название пыльной бури. В виде пыли (частицы почвы менее 0,1 мм) с полей уносится столько же почвы, сколько откладывается в виде мелкозема (комочки до 1 мм в диаметре) у различных препятствий — в придорожных канавах и кюветах, у домов и хозяйственных построек, возле полезащитных лесных полос. Ветровая эрозия может иногда за сутки лишить поле слоя почвы в 1 - 5 см. А для восстановления слоя в 1 см в естественных условиях требуется 250 - 300 лет, поэтому, утрата почвенного покрова - утрата невосполнимая.

Борьба с ветровой эрозией предусматривает, во-первых, защиту полей от ветра, во-вторых, сохранение в почве влаги и, в-третьих, сохранение или восстановление комковатой структуры почвы.

В настоящее время установлено, что если изменить систему обработки почвы (вместо плуга осенью обрабатывать почву безотвальными орудиями: глубокорыхлителями или культиваторами - плоскорезами, которые сохраняют на поверхности поля от 65 до 90 % стерни и других растительных остатков), то ветровая эрозия на таких полях не возникнет. Оставшаяся на поверхности поля растительность не дает ветру перемещать по нему комочки почвы и поднимать в воздух пылевидные частицы.

Очень большое значение в защите почв от ветровой эрозии имеют противоэрозионные сеялки, которые за один проход осуществляют четыре операции: предпосевную обработку, внесение гранулированных удобрений, посев и прикатывание рядков.

На полях, обработанных безотвальными орудиями, накапливается в 2 раза больше снега, чем при отвальной осенней вспашке, полностью аккумулируются весенние талые воды, лучше сохраняется влага в почве. В результате такой обработки урожаи яровой пшеницы повышаются на 2,5—3,5 ц с 1 га.

Кроме того, эффективно защищает почву почвозащитный севооборот такой, в котором многолетние травы и однолетние культуры располагаются на полях чередующимися полосами поперек направления господствующих эрозионно-опасных ветров. Ширина полос не должна превышать 50 м. В данном севообороте в каждом поле 50% площади занято многолетними травами и 50% - однолетними культурами и чистым паром. В Казахстане и Алтайском крае обычно травы держат на полосах 5 лет, а затем травяные полосы распахивают и в течение такого же срока при соответствующем чередовании занимают однолетними культурами и паром. Полосы, находившиеся раньше под однолетними культурами, засевают травами. После вспашки трав два года сеют пшеницу, затем на один год полосы оставляют под пар и после пара опять два года сеют зерновые культуры. Такой порядок использования этих земель позволяет хозяйству получать большое количество ценных кормов для животноводства и повышать урожай однолетних культур. Одно из наиболее надежных средств борьбы с ветровой эрозией – создание ветроломных полезащитных лесополос.

Полезащитное лесоразведение. Существует два основных типа полезащитных полос: водорегулирующие и ветроломные. Первые используются для защиты от водной эрозии. Их закладывают поперек склона. Поскольку лесные почвы обладают высокой влагоемкостью, полосы эти делают широкие, загущенные, с кустарниковой опушкой. Все это создает в полосе условия, близкие к лесным. Ширина таких полос различна и зависит от длины и крутизны склона.

Совсем иначе строится система ветроломных лесополос. Их действие сводится к уменьшению средней скорости ветра на межполосных полях. Ослабление вертикальных движений воздуха в нижнем слое (до высоты в несколько метров) на межполосных полях объясняется тем, что воздушные вихри, движущиеся близ поверхности земли, попадая в лесную полосу, дробятся и разрушаются. Вследствие этого воздушный поток, просочившийся через лесную полосу, оказывается лишенным крупных вихрей. Такой эффект будет наблюдаться только в более или менее хорошо продуваемой лесной полосе, через которую воздушный поток просачивается сравнительно свободно. Густая лесная полоса действует на воздушный поток иначе. За такой полосой создается сравнительно небольшая зона затишья, а затем скорость ветра быстро возрастает и приближается к условиям ветрового режима в открытой степи. При этом в приземном слое не наблюдается уменьшения размера воздушных вихрей. В таком случае воздушный поток, приближаясь к лесной полосе, несколько приподнимается, огибает ее сверху и затем сразу же опускается, приходя в первоначальное состояние.

Полезное значение лесополос не только в том, что они защищают поля от ветра. В них формируется новая разнообразная фауна, включающая насе-

комоядных птиц, хищных птиц и зверьков, истребляющих вредных грызунов, и т. п.

5.4.2. Загрязнение почв

Один из источников загрязнения почв - дымовые выбросы заводов, что наиболее ярко выражено в крупных промышленных районах. Выбросы предприятий, оседая на поверхности земли, покрывают ее все более толстым слоем. Чаще всего оседают частицы, содержащие активные химические вещества. Под их действием в почве происходят реакции, совершенно изменяющие ее свойства.

В почвенной среде одновременно протекают разнообразные процессы взаимодействия между твердыми и газообразной фазами почвы, живым веществом и почвенным раствором, от которых зависят доминирующая форма соединения элемента и характер его распределения между фазами (рис. 5.17). Техногенные загрязнения могут воздействовать на все связи между различными элементами почвы и привести к нарушению их динамического равновесия.

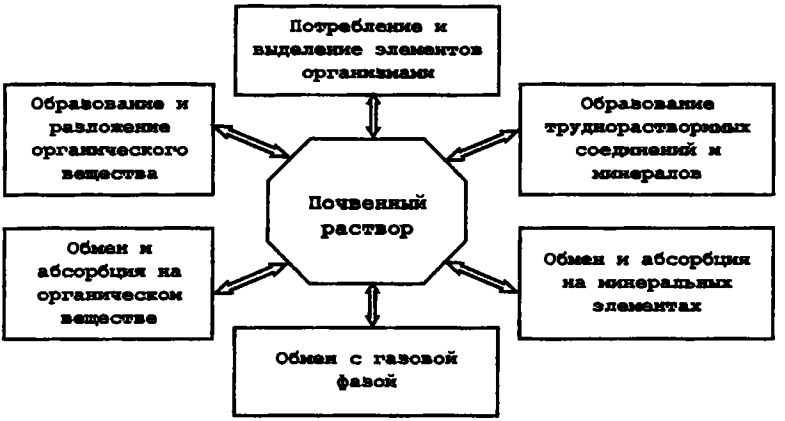

Рис. 5.17. Динамическое равновесие между компонентами почвы

Часть элементов, поступающих на поверхность почвы с техногенными потоками, задерживается в верхнем горизонте. Состав и массы удерживаемых элементов зависят от содержания и состава гумуса, карбонатно-щелочных и окислительно-восстановительных условий, сорбционной способности, интенсивности биологического поглощения. Другая часть потока проникает внутрь почвенной толщи при нисходящем токе почвенной влаги, а также механическим путем за счет переноса веществ почвенными животными.

Характер вертикального распределения тяжелых металлов в естественных и техногенных ландшафтах существенно различается. Для техногенных территорий независимо от типа почвы характерен регрессивно-аккумулятивный тип распределения, проявляющийся в накоплении металлов в верхнем гумусовом горизонте почвы и резком понижении их содержания в нижележащих горизонтах. В целом на характер перераспределения тяжелых металлов в профиле почв оказывает влияние комплекс почвенных факторов: гранулометрический состав почв, реакция среды, содержание органического вещества, катионообменная способность, наличие геохимических барьеров, дренаж и другие.

В пределах почвенного профиля техногенный поток веществ встречает различные почвенно-геохимические барьеры. Наличие барьерных функций в горизонтах, например дерново-подзолистых почв или в глеевых горизонтах торфяно-глеевых почв, подтверждается накоплением различных микроэлементов в условиях нормального геохимического фона и в незагрязненных ландшафтах.

Тяжелые металлы и другие потенциально токсичные элементы характеризуются различной подвижностью в зависимости от кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий в почвах.

В кислых почвах с преобладанием окислительных условий (почвы подзолистого ряда, хорошо дренированные) такие тяжелые металлы, как Cd и Hg, образуют легкоподвижные формы. Напротив, Pb, As, Se образуют малоподвижные соединения, способные накапливаться в гумусовых и иллювиальных горизонтах и негативно влиять на состояние почвенной биоты. Если в составе загрязняющих веществ присутствует сера, в восстановительных условиях создается вторичная сероводородная среда и многие металлы образуют нерастворимые или слаборастворимые сульфиды. В заболоченных почвах Mo, V, As, Se присутствуют в малоподвижных формах. Значительная часть элементов в кислых заболоченных почвах присутствует в относительно подвижных и опасных для живого вещества формах; таковы соединения Pb, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Cd и Hg. В слабокислых и нейтральных почвах с хорошей аэрацией (дерново-подзолистые, серые, лесные, дерново-карбонатные) образуются труднорастворимые соединения свинца, особенно при известковании. В нейтральных почвах подвижные соединения Zn, V, As, Se, а Cd и Hg могут задерживаться в гумусовом и иллювиальных горизонтах. По мере уменьшения кислотности опасность загрязнения почв перечисленными элементами увеличивается. В слабокислых и нейтральных глеевых почвах (дерново-глеевых и перегнойно-глеевых южной части таежной зоны и зоны широколиственных лесов) значительная часть микроэлементов образует слабоподвижные соединения (As, Se, Cr). Свинец в этих условиях менее опасен, так как малоподвижен и практически недоступен растениям и другим живым организмам. Накопление слабоподвижных соединений элементов, присутствующих в малых

количествах, свойственно нейтральным почвам с высоким содержанием гумуса - черноземам и лугово-черноземным почвам.

Присутствие в составе илистой фракции монтмориллонита, неокристаллизованных гидроксидов, гуминовых кислот усиливает сорбционные свойства барьеров. Накопление подвижных соединений элементов, токсичных для организмов, существенно зависит от водного режима почв: оно минимально в хорошо водопроницаемых почвах промывного режима, увеличивается в почвах с непромывным режимом и достигает максимальных размеров при выпотном режиме. В почвах со щелочной реакцией при испарительной концентрации в легкодоступной форме накапливаются Se, As, V, а в восстановительных условиях - ртуть в форме метилртути.

Под влиянием газопылевых выбросов, загрязняющих атмосферный воздух и почву, наблюдается нарушение и даже полное уничтожение естественных фитоценозов, образование техногенных геохимических провинций.

Экстремальные воздействия газопылевых выбросов в конечном счете ведут к гибели растительности, к эрозии и дефляции почв. В гумидных зонах в результате загрязнения значительно повышаются кислотность почв, содержание тяжелых металлов, увеличивается концентрация токсичных веществ в почвенно-грунтовых водах, водах подчиненных ландшафтов, реках, прудах, озерах. Зона максимального загрязнения почвенного покрова, угнетения и гибели растений за счет газопылевых выбросов имеет протяженность до 5-10 км от источника выбросов, а нередко до нескольких десятков километров. Под влиянием атмосферного загрязнения в значительной степени изменяется также флористический состав разных типов растительности: лиственных и хвойных лесов, болот, луговых угодий. Например, в ряде районов Подмосковья плохое состояние одновозрастных, особенно чистых ельников объясняется загазованностью и запыленностью окружающей среды, уплотнением почвы, изменением ее химического состава. Появляются также специфические болезни ели.

Конкретным примером изменения природной среды в зонах воздействия газопылевых выбросов предприятий цветной металлургии могут служить медеплавильный завод (Средний Урал) и Норильский горно-металлургический комбинат. Визуальная оценка состояния древостоя, травянистого покрова, оценка видового состава растительности показывают, что по степени деградации растительного покрова вокруг медеплавильного завода выделяются четыре зоны: с отсутствием или сильным угнетением растительности (зона «техногенной пустыни»); среднеугнетенная с наличием травянистого покрова; слабо угнетенная, характеризующаяся суховершинностью хвойных пород деревьев; неповрежденная (фоновая). Полевые обследования и результаты лабораторного определения содержания элементов-поллютантов в растениях показали, что площадь первой зоны составляет в среднем 1,7 тыс. га. На территории «техногенной пустыни» естественный

растительный покров отсутствует; в изреженных посадках находятся сильноугнетенные береза, ива, осина с обожженными листьями и сухими вершинами. Протяженность переходной зоны значительно изменяется для разных элементов и почти в 10 раз превышает площадь первой зоны. Общая площадь загрязнения почв и растений достигает около 19 тыс. га.

Растительные сообщества южной тайги более устойчивы к химическому загрязнению по сравнению с сообществами северной тайги. Малая устойчивость северотаежных ценозов обусловлена их незначительным видовым разнообразием и более простым строением, наличием чувствительных к химическому загрязнению видов (мхи и лишайники), малой продуктивностью и емкостью биологического круговорота, меньшей способностью к восстановлению.

Тяжелые металлы оказывают значительное воздействие и на почвенную биоту. Актуальность проблемы воздействия тяжелых металлов на почвенные микроорганизмы обусловлена тем, что именно в почве происходят процессы минерализации органических остатков. Тяжелые металлы существенно влияют на численность, видовой состав и жизнедеятельность почвенной микробиоты. Они ингибируют процессы минерализации и синтеза различных веществ в почве, подавляют дыхание почвенных микроорганизмов, вызывают микробостатический эффект, способствуют проявлению мутагенных свойств. Высокие концентрации тяжелых металлов тормозят ферментативную деятельность в почвах. Токсичность тяжелых металлов неодинаково проявляется по отношению к различным ферментам.

5.4.3. Засоление и закисление почв

Многие растения хорошо развиваются лишь в строго определенном интервале значений pH. На сильно кислых почвах чувствуют себя хорошо только растения, приспособленные к таким условиям. Микроорганизмы и прочие почвенные организмы также зависят от реакции почвы; в кислых почвах встречаются почти исключительно одни лишь грибки. Значение pH определяет соотношение количества водородных ионов, содержащихся в почве, и одновременно присутствующих в ней оснований, прежде всего ионов кальция. Ведь для почвы, почвенных организмов и растений важно не само по себе значение pH, а способность почвы выравнивать внезапно возникающий избыток водородных ионов. Эта буферная способность зависит от того, сколько глинистых или гумусовых частиц содержится в почве, так как каждая из них окружена оболочкой из активных катионов оснований – Ca^{2+}, Mg^{2+} ,K^{+} или Na^{+}. Именно поэтому у почв, богатых глинистым и гумусовым материалом, буферные свойства выражены лучше всего. Наоборот, бедные гумусом песчаные почвы хуже защищены от внешних факторов закисления - снижение величины pH протекает здесь более жестко, чем в почвах, обладающих буферными свойствами. Основные причины закисления почв:

• выдыхание углскисного газа микроорганизмами и корнями растений, сопровождающееся образованием угольной кислоты H_2CO_3 при взаимодействии CO_2 и H_2O;

• попутное образование неблагоприятных, весьма кислых форм гумуса при переработке трудноразложимого органического вещества, например хвойной подстилки;

• всасывание растениями питательных веществ (калия, кальция, магния, фосфора);

• выделение кислот корнями растений и микроорганизмами, включая грибки;

• внесение кислотообразующих удобрений (особенно за счет аммиачных или аммиакобразующих удобрений на основе мочевины, при преобразовании которых в нитратную форму, усвояемую растениями, возникает азотная кислота);

• наличие кислот, содержащихся в дождевой воде (HNO_3, H_2SO_4, H_2SO_3, H_2CO_3).

Засоление почв может происходить как в естественных условиях, так и вследствие искусственного орошения. Естественное засоление в умеренном климате может возникать в зоне влияния моря, причем только в тех случаях, когда полосы низменного морского побережья, не огороженных дамбами, заливаются при высоких приливах. Напротив, почвы в жарком сухом климате засоляются сильнее, поскольку соль, растворенная в грунтовых водах вследствие их подсола, сопровождающего испарение, поднимается кверху и скапливается на поверхности почвы в виде соляной корки.

Искусственное засоление в зоне умеренного климата происходит при орошении солоноватыми сточными водами, а также при использовании соли, которой зимой посыпают дороги при гололеде. Всего, например, в ФРГ за 1 год разбрасывается на автострадах, других дорогах и улицах в среднем 1,5 млн. т соли.

5.4.4. Загрязнение почв пестицидами

По имеющимся оценкам, ежегодно половину мировых запасов продовольствия пожирают или повреждают насекомые, плесневые грибы, грызуны, птицы и другие вредители: они уничтожают урожай и в поле, и при погрузке, и во время хранения.

Специалисты считают, что в случае успешной борьбы с насекомыми и болезнями, которые поражают зерновые культуры в поле, ежегодная прибавка урожая составила бы около 200 млн. т зерна. Этого количества хватило бы для пропитания 1 млрд. человек. Кроме того, если бы мы смогли обезвредить таких вредителей, как крысы и насекомые, которые поедают или повреждают зерно, находящееся уже в хранилищах, то количество продовольственного

зерна увеличилось бы на 25% без увеличения реально выращиваемой продукции.

Проблема, и, к сожалению, не единственная, состоит в том, как бороться с вредителями, не принося вреда самому человеку или окружающей среде. Любое вещество, используемое для уничтожения вредителей, называют **пестицидами** (pest -вредитель), а любой организм, который конкурирует с человеком за пищу или жизненное пространство, обычно называют вредителем. Использование химических соединений для уничтожения вредителей - идея отнюдь не новая. Уже несколько веков назад фермеры для уничтожения насекомых и других вредителей использовали такие химические вещества, как мышьяк, свинец и ртуть, или естественные продукты, полученные из растений, например пиретрум (его получали из растения, напоминающего маргаритку). Однако в 1945 г. началась новая эра в борьбе с вредителями, когда для уничтожения вшей и блох, отравлявших жизнь солдат во время Второй мировой войны, стали широко применять ДДТ. ДДТ - первый, широко используемый синтетический пестицид. В последующие годы было создано множество других синтетических пестицидов. В ряде случаев прибавка урожая в результате применения каких-либо новых пестицидов была очень впечатляющей. До 1967 г. половина всех существующих пестицидов так же, как и ДДТ, принадлежала к химическому семейству хлорированных углеводородов.

Постепенно, однако, стали накапливаться данные, свидетельствующие о том, что синтетические пестициды приносят не только пользу.

Применение гербицидов ставит перед нами три основные проблемы. Первая из них связана с тем, что определенные пестициды имеют тенденцию накапливаться в живых организмах. В некоторых случаях пестициды не только накапливаются в количестве, большем, чем в самой окружающей среде, но их концентрация возрастает по мере продвижения по пищевым цепям. Это явление называют эффектом биологического усиления.

ДДТ служит примером биологически усиливающегося пестицида. ДДТ растворим в жирах. Когда в организм животного попадает ДДТ - с водой, с остатками уже обработанных растений или с насекомыми, которые питались такими растениями, он концентрируется в жировых тканях. Из жировых тканей ДДТ выводится очень медленно. Если какой-то другой организм в пищевой сети поедает первый, то он в этом случае поглощает уже более концентрированную дозу ДДТ. Организмы, находящиеся на вершинах пищевых цепей (например, человек или хищные птицы, такие как орел или сокол), поедают пищу, в которой ДДТ содержится в значительно более высоких концентрациях, чем обычно в окружающей среде. Одним из последствий накопления ДДТ в организме птиц является то, что они откладывают яйца со значительно более тонкой скорлупой. Тонкая скорлупа легко разбивается и не может защитить развивающегося в яйце птенца. По этой причине сокол сап-

сан на востоке США перестал размножаться и в шестидесятых годах практически исчез.

Вторая проблема связана с продолжительностью сохранения гербицидов в почве или на культурных растениях после обработки. Хлорированные углеводороды, такие как ДДТ, и пестициды, содержащие мышьяк, свинец или ртуть, относятся к группе устойчивых. Это означает, что они не разрушаются за время одного вегетационного сезона под действием солнца или бактерий. Период полужизни у ДДТ, например, может длиться до 20 лет (т.е. через 20 лет только половина первоначально использованного ДДТ разложится до простых соединений). Ртуть и мышьяк полностью не разрушаются никогда; они циркулируют в экосистеме или оказываются захороненными в иле.

Устойчивые пестициды могут накапливаться в почве, если их применяют из года в год. В некоторых фруктовых садах, где для борьбы с насекомыми обычно пользовались мышьяковистым свинцом, мышьяк накопился в почве в таких количествах, что сами фруктовые деревья погибли. Длительная жизнь устойчивых пестицидов является основным фактором в процессе вторичного загрязнения, когда продукты питания, никогда не подвергавшиеся обработке пестицидами, тем не менее их содержат. ДДТ, например, сохраняется в почвенных частицах.

Во многих регионах пыльные бури подхватывают такую загрязненную пыль и разносят ее буквально по всему свету. С дождями эта пыль осаждается в местах, где не только не слышали о пестицидах, но даже не занимаются земледелием. Так, следы ДДТ были обнаружены в жировых тканях атлантических тюленей, дельфинов и рыб. В шестидесятых годах, когда ДДТ применяли особенно широко, на Англию с дождями ежегодно обрушивалось 20 т этого пестицида. Таким образом, ненамеренной и нежелательной обработке ДДТ подвергались пастбища и все сельскохозяйственные культуры.

Проблемы, возникающие в связи с использованием пестицидов, сводятся не только к явлениям биологического усиления и устойчивости пестицидов. Третья серьезная проблема-это способность вредителей становиться устойчивыми к пестицидам: пестициды перестают их убивать. Это может происходить в результате мутаций, возникающих у некоторых особей среди бесчисленного потомства, появляющегося ежегодно. *Мутации* - это изменения в генетическом материале особи, который определяет все присущие ей признаки.

Любой пестицид может уничтожить большую часть насекомых на данной территории. Однако некоторое число особей, которые в результате мутаций приобрели несколько иные признаки, может выжить. Выжившие насекомые способны вновь заселить обработанную территорию, передав по наследству своему потомству устойчивость к данному пестициду. Иногда пестициды сами могут индуцировать устойчивость, стимулируя выработку вредителями определенных ферментов, которые разрушают эти пестициды. Именно

те насекомые, которые выработают наибольшее количество таких ферментов, скорее всего, выживут и дадут потомство. Через несколько поколений появятся насекомые, обладающие достаточным количеством фермента, чтобы разрушить практически любой пестицид. Такого рода эффект привел к появлению комнатных мух, невосприимчивых ко всем основным типам пестицидов.

Наряду с появлением невосприимчивых к инсектицидам насекомых появляются устойчивые к гербицидам сорняки. В 1968 г. были обнаружены первые из них. Устойчивые сорняки редко встречаются на полях, которые никогда не обрабатывали гербицидами. Однако с ростом применения гербицидов в результате того, что все больше фермеров практикуют сокращенную обработку полей, невосприимчивые к гербицидам сорняки появляются все чаще.

Еще с одной, четвертой, проблемой столкнулись сравнительно недавно. В конце семидесятых годов ученые, пытаясь выяснить причины эффективности некоторых пестицидов в первое время и последующее ее снижение, обнаружили, что дело здесь не в устойчивости сорняков или насекомых, а скорее, в разрушении пестицидов почвенными микроорганизмами. Эти микроорганизмы адаптируются к пестицидам таким образом, что начинают разрушать или использовать их. В результате пестициды становятся неэффективными в борьбе с сорняками или насекомыми.

В заключение следует сказать, что синтетические пестициды оказались не так просты в использовании и не так выгодны, как того ожидали. Насекомые и другие вредители, такие, например, как крысы, показали свою способность вырабатывать невосприимчивость к пестицидам. И если одни - устойчивые пестициды - скапливаются из года в год в почве и в осадках на дне озер и рек, то другие разрушаются почвенными микроорганизмами прежде, чем уничтожат вредителей. Кроме того, жирорастворимые пестициды поступают в организм вместе с водой и пищей и скапливаются в молоке и жировых тканях многих животных, в том числе и человека, в очень высоких концентрациях.

5.4.5. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами

Попадание нефтяных углеводородов в почву вызывает негативные последствия. В районах нефтедобычи и нефтепереработки наблюдается интенсивная трансформация морфологических и физико-химических свойств почв. Глубина их изменения зависит от продолжительности загрязнения, состава и концентрации компонентов нефти, ландшафтно-геохимических особенностей территории и проявляется в смещении реакции почвенного раствора в щелочную сторону, повышении общего содержания углерода в почве в 2 - 10 раз, а количества углеводородов в 10 - 100 раз.

Существенно меняются морфологические свойства почв: усиливается кочковатость, происходит изменение цветовых характеристик почвенного профиля в сторону преобладания серо- и темно-коричневых оттенков, ухудшается структура почвы. Конечным результатом нефтяного загрязнения является формирование почвенных ареалов с необычными для зональных условий чертами. Зональные типы сменяются техногенными модификациями, снижается продуктивность почв вплоть до необходимости вывода загрязненных земель из сельскохозяйственного оборота.

Несмотря на опасные последствия от загрязнения нефтью и нефтепродуктами, при низких концентрациях она и некоторые ее компоненты оказывают стимулирующее действие на почвенную биоту, являясь энергетическим субстратом для микроорганизмов, и способствуют росту некоторых почвенных грибов.

Токсичность нефти объясняется присутствием летучих ароматических углеводородов (толуол, ксилол, бензол), нафталина и ряда других фракций нефти. Эти соединения легко разрушаются и удаляются из почвы, поэтому период острого токсического действия нефти сравнительно короток. В составе нефти также содержатся метан и пропан, которые окисляются соответствующими видами микроорганизмов. Метаноокисляющие микроорганизмы широко распространены в почвах газоносных районов, а также там, где идет энергичный распад органических веществ в анаэробных условиях. Микроорганизмы, использующие высшие члены гомологического ряда алканов, являются обычными обитателями почв нефтеносных районов и служат индикаторами нефтяных месторождений или нефтяных загрязнений.

Нефть и нефтепродукты оказывают токсическое действие на высшие растения. Посев растений сразу после загрязнения сопровождался гибелью растений. Даже через год после внесения нефти на этих участках не удалось получить урожая, так как всхожесть семян составила менее 50%.

Почвенные беспозвоночные также угнетаются высокими дозами нефти. В полевых экспериментах даже при дозе 8 л/м^2 происходит полное угнетение всех зоологических групп, причем в первую очередь погибают крупные беспозвоночные, более устойчивы простейшие.

В биогеоценозах осуществляются процессы самоочищения от нефти, причем скорость процесса самоочищения зависит от биоклиматической обстановки. Так, в серо-коричневых солонцеватых почвах в условиях недостаточного увлажнения содержание нефти за 12 месяцев снизилось на 65%. В подзолистых и дерново-подзолистых почвах в условиях переувлажнения содержание нефти снижалось быстрее. Зная естественные механизмы и скорость самоочищения почв, можно разрабатывать методы очистки почв от загрязнения нефтью и нефтепродуктами.

5.4.6. Рекультивация земель

Во всем мире прилагаются значительные усилия для возвращения в хозяйственный оборот нарушенных земель. Земли, на которых в результате хозяйственной деятельности изменены гидрологический режим и рельеф, разрушен и загрязнен почвенный покров, уничтожена растительность, называют *нарушенными.* Расширение добычи полезных ископаемых, особенно открытым способом, привело к образованию в стране обширных площадей нарушенных земель. Нарушение природных ландшафтов горно-рудной промышленностью сопряжено с нанесением окружающей среде огромного ущерба.

Все нарушенные территории можно подразделить на две группы:

- земли с насыпным грунтом - промышленные отходы, отвалы подземных горных разработок (терриконы);
- территории, поврежденные в результате выемки грунта,- карьеры и отвалы при открытых горных работах, провалы на месте подземных разработок.

Карьеры после открытой добычи также делятся в зависимости от метода разработки и геологии местности по глубине и виду полезного ископаемого. Отдельные карьеры занимают площади до 2 - 3 тыс. га. Их глубина достигает 100 - 200 м и более. Нарушенные участки оказывают неблагоприятные воздействия на территорию, примерно в 10 раз превышающую площадь очагов непосредственного нарушения. Во многих случаях отработанные участки превращаются в бросовые земли, а хаотическая поверхность их часто напоминает индустриальные пустыни.

Для использования нарушенных земель в хозяйственных целях необходимо их восстановление. Процесс восстановления нарушенных земель называют *рекультивацией.* Восстановление территорий осуществляется по четырем направлениям: для сельскохозяйственного использования (земледелие, животноводство), под лесные насаждения, под водоемы, жилищное и капитальное строительство. Обычно выделяют два этапа рекультивации: горнотехнический и биологический.

Горнотехнический этап состоит в подготовке территории: планировке отвалов, придании удобной для использования формы, насыпании плодородных грунтов, создании подъездных путей и т. д.

Биологический этап заключается в восстановлении нарушенных земель путем выращивания сельскохозяйственных культур или посадки древесных пород.

Установлено, что при горизонтальном залегании полезных ископаемых можно возвращать в пахотные угодья до 70—85% всей нарушенной площади с продуктивностью рекультивированных земель на уровне исходных зональных почв, а в отдельных случаях даже превышать его. Условием для успешной рекультивации земель является обоснование мощности снятия плодородного слоя почвы с участков, отводимых под горные разработки. Необходимо

снимать наиболее плодородную часть почвы мощностью 45 - 60 см, например обыкновенных черноземов.

Технологию создания рекультивированных земель целесообразно осуществлять таким образом, чтобы верхний плодородный слой укладывался на подготовленную, предварительно спланированную поверхность промышленных отвалов. Лучше всего складировать эту массу в отдельные штабеля или бурты высотой 5 - 15 м. При длительном хранении их засевают многолетними бобовыми травами. Для восстановления почв рекомендована мощность почвенного слоя в 40 - 60 см как обеспечивающая урожаи зерновых культур на уровне ненарушенных земель.

Для месторождений с неглубоким залеганием от поверхности полезных ископаемых (15 - 30 м) применяют двухъярусную выемку и укладку нарушенной горной массы, в соответствии с которой неблагоприятные и малопродуктивные отложения отсыпаются в нижнюю часть отработанной части карьера, а благоприятные - на поверхность промышленных карьеров.

Различают две основные формы биологической культивации: лесную и сельскохозяйственную. Наиболее эффективна в настоящее время лесная рекультивация. Это объясняется тем, что лесные культуры менее требовательны к условиям местообитания, чем культуры сельскохозяйственные. При лесоразведении допустимы менее тщательное разравнивание поверхности и нанесение менее толстого слоя плодородной почвы, а иногда можно обойтись и без нее. Это, конечно, упрощает и удешевляет озеленительные работы.

При облесении в первые годы освоения отвалов часто применяют посевы так называемых подготовительных культур, а затем сажают деревья. При озеленении промышленных отвалов хорошо зарекомендовали себя ольха, сосна обыкновенная, береза, тополь и ива.

Сельскохозяйственная рекультивация обычно проводится в районах развитого сельскохозяйственного производства с большой плотностью населения, где имеются плодородные почвы и где дефицит земель особенно ощутим. Сельскохозяйственная рекультивация в России имеет значение для центрально-черноземных областей, Подмосковного угольного бассейна и других промышленных районов страны. За рубежом она широко применяется в Англии, в отдельных штатах США, на плодородных лёссовых почвах в ФРГ.

При сельскохозяйственной рекультивации производятся тщательное разравнивание поверхности отвалов, химическая мелиорация (если она необходима), нанесение более толстого плодородного почвенного слоя (мощностью в среднем 50 - 60 см) и регулирование водного режима. На подготовленные таким образом отвалы вначале высевают нетребовательные к почвенным условиям растения, устойчивые в борьбе с болезнями и сорняками, создающие большое количество надземной и подземной массы и тем самым обогащающие почву органическими веществами и улучшающие ее структуру. Преимущественно это однолетние и многолетние бобовые и злаки в чистых

посевах и в смеси друг с другом. Через несколько лет можно производить посевы сельскохозяйственных культур в чистом виде.

Отвалы промышленных предприятий крайне неблагоприятны для роста и развития растений, бесплодны и часто фитотоксичны. Наиболее опасны в отношении загрязнения среды и тяжелы для рекультивации отвалы обогатительных предприятий и предприятий цветной металлургии. Здесь необходимо нанесение слоя почвы, удобрение илом из очистных сооружений и т. д. На отвалах алюминиевого производства требуется предварительная нейтрализация кислотности субстрата.

Нередки случаи, когда сельскохозяйственная и даже лесная рекультивация земель нерентабельна. Тогда возможно другое использование территории. Карьеры (обычно оставшиеся после израсходования глины для кирпичных заводов) могут быть превращены в водоемы, места свалки. На затопленных торфяных выработках можно разводить рыбу и водоплавающую птицу.

Рекультивация земель - сложная проблема, требующая дальнейшего изучения. Тем не менее, горнорудные предприятия, строительные организации, предприятия местной промышленности обязаны заниматься восстановлением земель, нарушенных производственной деятельностью.

Глава 6
Экологическая регламентация хозяйственной деятельности

6.1. Мониторинг

Высокая опасность для жизни и здоровья человека из-за снижения качества окружающей среды, риск крупных технологических аварий и деградация природных экосистем становятся реальным препятствием для устойчивого социально-экономического развития и требуют безотлагательных мер на всех уровнях: муниципальном, региональном, федеральном и межгосударственном. Особенно актуально это для Уральского промышленного региона, который относится к зоне высокого уровня хозяйственного освоения с максимальной степенью нагрузки на природу. Всевозрастающая деятельность человека явилась причиной многообразных и не всегда желательных изменений среды обитания практически всех населяющих ее организмов. Прогрессирующее загрязнение окружающей среды, обусловленное бесконтрольной хозяйственной деятельностью, в последнее время приобретает все более угрожающий характер не только для человека, но и природы в целом. Эти процессы из локальных стали принимать региональные масштабы, возникла угроза глобальных антропогенных катастроф. Для решения данной проблемы необходимо планирование природоохранной деятельности и проведение мероприятий по строгому контролю над их выполнением.

В условиях всевозрастающего воздействия человека на окружающую среду и угрозы серьезных негативных последствий таких воздействий возникла необходимость в детальной информации как о состоянии среды, так и биосферы в целом. В отличие от изменений состояния биосферы, вызванных естественными причинами, ее изменение под влиянием антропогенных факторов происходит во много раз быстрее. Для того чтобы выделить антропогенные изменения на фоне естественных, возникла необходимость в организации системы специального контроля. Проблема контроля над загрязнениями и оценки их влияния на окружающую среду стала одной из важнейших задач сегодняшнего дня. Основная задача системы контроля состоит в раннем предупреждении наступающих естественных или антропогенных изменений состояния природной среды, которые могут нанести прямой или косвенный ущерб здоровью или благосостоянию людей. В настоящее время употребляют два основных термина, касающихся оценки качества окружающей среды: контроль и мониторинг. Основными задачами экологического контроля являются: наблюдение за состоянием окружающей среды и ее изменением под влиянием хозяйственной деятельности; проверка выполнения планов и мероприятий по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов, соблюдению требований природоохранительного законодательства и нормативов качества окружающей среды. Основные задачи экологического мониторинга: измерение, анализ, моделирование возможных вариантов состояний природной среды в ответ на те или иные воздействия. Основная цель экологического

мониторинга – информационное обеспечение управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью, включающее в себя прогноз, принятие решений, разработку природоохранной стратегии.

Мониторинг (от лат. monitor - тот, кто напоминает, предупреждает) - комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий. Мониторинг не включает задачи управления качеством окружающей среды, тогда как контроль подразумевает не только наблюдение и получение информации, но и, по крайней мере, элементы воздействия, управления состоянием среды.

Общая схема мониторинга, представленная на рис. 6.1, состоит из двух больших блоков: системы натурных наблюдений и автоматизированной информационной системы. Различают довольно много видов мониторинга как по характеру загрязнения среды, так и по методам или целям наблюдения.

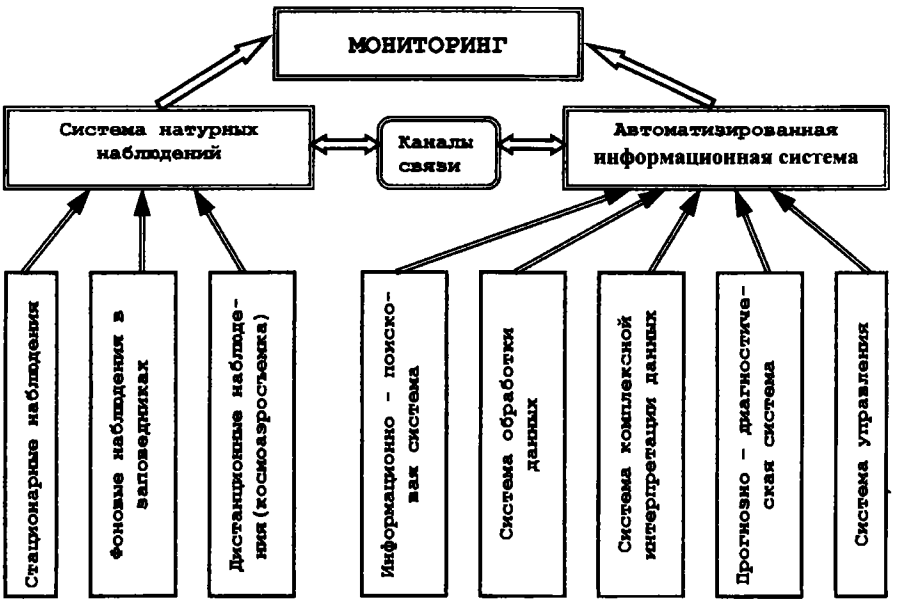

Рис. 6.1. Основная схема мониторинга

Глобальный (биосферный) мониторинг осуществляется на основе международного сотрудничества и представляет собой слежение и разработку прогноза за общемировыми процессами и явлениями, включая антропогенные воздействия на биосферу. Наблюдение ведут базовые станции в различных регионах планеты (30 - 40 сухопутных и более 10 океанических). Нередко они располагаются в биосферных заповедниках.

В аспекте глобального мониторинга представляет интерес один из проектов международной программы «Человек и биосфера» (МАБ) — «Изучение загрязнения окружающей среды и его воздействие на биосферу». Основными задачами проекта являются:

1) установление взаимосвязи между загрязнением, структурой и функционированием земных и водных экосистем;

2) выявление тех показателей и измерений, которые будут необходимы для наблюдения и оценки текущего состояния окружающей среды, а также для составления прогнозов будущих экологических изменений, появляющихся в результате загрязнения.

При выполнении проекта вырисовалось три главных направления исследований:

1) определение критических переменных и ряда основных показателей окружающей среды;

2) экспериментальная проверка взаимосвязи между загрязняющими ингредиентами и экосистемами, популяциями или отдельными организмами;

3) анализ путей и скорости преобразования и циркуляции загрязняющих веществ в экосистемах.

Выделен для особого изучения ряд процессов в окружающей среде, которые обычно представляют опасность для естественных экосистем, например воздействие кислот, растворенных в дождевой воде, на почву и растительность, перенос микроорганизмов, вирусов и паразитов в грунтовые воды, а также накопление летучих химических веществ в условиях холодного климата.

Национальный мониторинг имеет те же цели, что и глобальный, но осуществляется в пределах государства специально созданными органами.

Региональный мониторинг – слежение за процессами и явлениями в пределах какого-либо региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы.

Локальный мониторинг (импактный) – система слежения за состоянием воздушной и водной среды и почвенного покрова различных участков, промышленных и сельскохозяйственных районов и отдельных предприятий. Локальный мониторинг осуществляется с помощью стационарных, передвижных или подфакельных постов. Такая система имеется в большинстве крупных городов России.

Каждый из описанных выше типов мониторинга в свою очередь, по объектам наблюдения подразделяется: на мониторинг физико – химических факторов среды; биологический и мониторинг антропогенных воздействий (рис. 6.2).

Мониторинг физико - химических факторов среды включает систематический контроль и исследование реакции атмосферы, гидросферы и педосферы в ответ на естественные природные изменения и состоит из блоков, представленных на рис. 6.2.

Биологический блок представляет собой наблюдения над состоянием окружающей среды на различных уровнях организации с точки зрения ее влияния прежде всего на состояние здоровья отдельного человека и населения в целом. Кроме того, состояние здоровья человека — наиболее комплексный показатель состояния окружающей среды, как бы вбирающий в себя все остальные показатели. В систему биологических наблюдений должно входить выявление наиболее опасных техногенных загрязнителей — как твердых, так и газообразных.

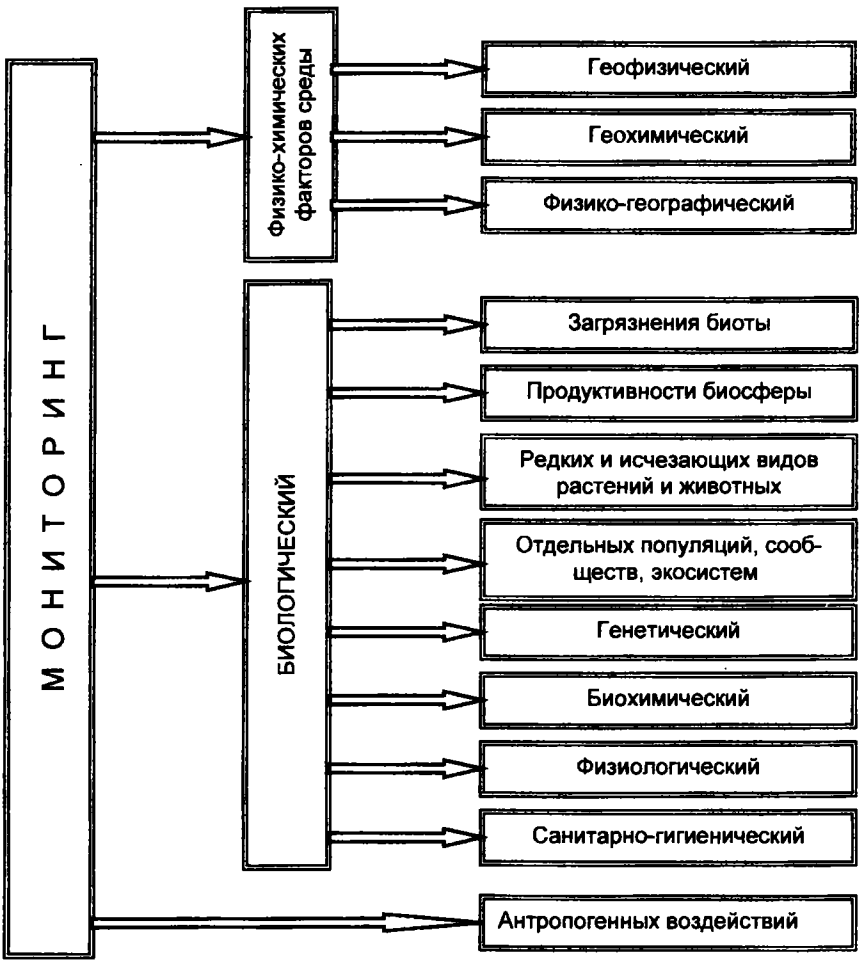

Рис. 6.2. Структура мониторинга окружающей среды

Мониторинг антропогенных воздействий представляет собой процесс слежения за результатами деятельности человеческого общества, тем или иным образом воздействующих на состояние окружающей среды.

Кроме того, мониторинг антропогенных изменений лежит в основе наблюдений, оценки и прогноза состояния преобразованной среды. Этот тип мониторинга можно подразделить на воздействия, обусловленные деятельностью человека в производственной сфере (предприятия различных отраслей, горная промышленность, нефтегазовая отрасль и многие другие),в непроизводственной сфере (торговля, бытовые услуги, здравоохранение, наука и научные исследования, отдых и туризм и другие) и в сфере сельского хозяйства, лесного хозяйства, рыбного хозяйства и т.д.

Для осуществления мероприятий по глобальному и национальному мониторингу, т. е. для получения информации об изменениях качества среды, происходящих уже на биосферном уровне, необходима организация специальных служб. Базой такого мониторинга могут служить длительно действующие территориальные комплексы с минимальным или практически нулевым предшествующим антропогенным воздействием. Иначе говоря, необходимо иметь места, где сохранился бы некоторый фоновый уровень качества среды, в сравнении с которым устанавливалась бы и степень воздействия человека на биосферу.

Для этой цели создана система заповедников, в том числе биосферных (станций). Сеть таких станций является составной частью национального мониторинга, т. е. службы наблюдения и контроля окружающей природной среды на территории России и других стран.

В задачу биосферных заповедников входят постоянные наблюдения и определение фоновых параметров современного состояния биосферы, а также сопоставление их с изменениями, вызываемыми антропогенным воздействием. Кроме того, в таких заповедниках необходимо вести регулярные и периодические целевые наблюдения над экосистемами, с тем чтобы выбрать научно обоснованные параметры для контроля состояния среды. Территория заповедника должна быть зональной, т. е. иметь центральною зону, удаленную от источника воздействия не менее чем на 50—100 км, со строгим режимом охраны; буферную, в пределах которой ставятся эксперименты, осуществляются опытные хозяйственные мероприятия; учебно-демонстрационную, куда возможен допуск посетителей.

Современное природопользование предусматривает управление развитием как общества, так и биосферы, что в будущем должно не только исключить всякие отрицательные последствия, но и исправить те, что уже имели место.

Следует иметь в виду, что в конкретных ситуациях возможны самые разнообразные варианты нарушений - от аварии систем очистки выбросов или оборотного водоснабжения до глобальных погодно-климатических возмущений, вследствие которых параметры качества среды могут неожиданно измениться даже в относительно отдаленных от промышленных комплексов районах.

Для того чтобы разумно управлять природопользованием, не допуская или своевременно предупреждая нежелательные отклонения качества среды, наряду с получением соответствующей информации необходимо

располагать данными о том, какая именно среда оптимальна для нормальных условий жизни человека. Понятно, что «оптимальность» оценивается по совокупности конкретных показателей. Должны быть четко выделены индикаторные характеристики экосистем и установлены нормативы предельно допустимых нагрузок на окружающую среду, превышение которых может привести к ее ухудшению, а следовательно, к ущербу для самого человека.

6.2. Экологическое нормирование

На рубеже нового тысячелетия человеческое общество, подталкиваемое усугубляющимся экологическим кризисом, вынуждено пересматривать систему своих взаимоотношений с природой. Это, прежде всего, выражается в постепенном переходе от концепции "неограниченного потребления природных ресурсов" через промежуточную концепцию "экономически устойчивого и экологически безопасного развития" к "ноосферной" концепции коэволюции природы и общества, в рамках которой человечеству определяется ведущая роль "управляющей" геоэкологическими процессами рациональной силы.

Однако в настоящее время, вероятно, еще рано говорить о рациональном управлении человеком биосферными процессами. Скорее, пока можно вести речь лишь об экологически ориентированном самоуправлении общества, т. е. об управлении процессами собственной жизнедеятельности в рамках законов биосферы. Именно в этих рамках сегодня нужно рассматривать понятие "экологическое управление" (экоменеджмент) как вид социального управления в экологической сфере деятельности, одним из направлений которого является управление окружающей средой (управление качеством окружающей среды). Данное направление в настоящее время можно считать одним из наиболее проработанных и (что существенно) официально закрепленных в международных и отечественных нормативных документах – стандартах ГОСТ Р ИСО серии 14000.

Среди мероприятий, направленных на управление качеством окружающей среды, в соответствии с нормами современного российского экологического права выделяют административно-правовые, экономические и информационные инструменты. При этом к первым относят в числе других экологическое нормирование (в том числе нормирование качества окружающей среды) и стандартизацию, экологический учет и контроль, экологическую экспертизу и сертификацию, экологическое планирование деятельности в области экосферы. Экономическими рычагами в экологическом управлении являются различные принудительные и стимулирующие мероприятия, к которым относят экологические платежи и налоги (в том числе налоговые льготы), финансовое обеспечение экологической безопасности, природоохранных мероприятий и рационального природопользования, экологическое страхование и ряд других. К третьей группе могут быть отнесены экологический мониторинг (в том числе мониторинг качества окружающей среды), экологические исследования, экологическое

прогнозирование и картографирование, геоинформационные системы (ГИС), а также экореклама, экологическое образование и другие информационные мероприятия в экологической сфере деятельности.

Нормирование качества окружающей среды и установление величин предельно допустимых антропогенных нагрузок на природные экосистемы - это, фактически, центральная проблема прикладной экологии. В конечном итоге от ее решения зависит обоснованность всей системы рационального природопользования: без экологических нормативов любые "запретительные" или "разрешительные" действия природоохранных ведомств "повисают в воздухе", а различные мероприятия, направленные на снижение отрицательных последствий хозяйственной деятельности, проводятся "вслепую", что резко уменьшает их результативность.

Вместе с тем экологическое нормирование - это наименее разработанная область прикладной экологии. В существенной степени это связано с тем, что правильные ответы на вопросы "сколько можно себе позволить изъять природного ресурса?" и "сколько можно позволить себе привнести в природу загрязняющих веществ и произвести в природе различных нарушений?" требуют достаточно полного знания закономерностей функционирования экосистем и их реакции на антропогенные нагрузки. Более того, эти вопросы нельзя решить, находясь в рамках рассмотрения только экологических систем,- необходимо расширение области анализа до системы природа - общество, поскольку ключевым моментом является определение критериев оценки качества природной среды.

В настоящее время регламентация техногенных воздействий на природные комплексы большей частью осуществляется в рамках системы санитарно-гигиенических нормативов, основанной на концепции ПДК. В то же время на настоящий момент общепризнанно, что для целей защиты экосистем от химического загрязнения такой подход неэффективен. Есть многочисленные примеры, когда безопасные для человека уровни поступления в среду поллютантов губительны для биоты. Кроме того, многокомпонентность выбросов реальных производств делает неэффективным контроль соблюдения регламентов по каждому отдельному ингредиенту. Формы нахождения токсикантов в природе отличаются от форм, для которых были установлены нормативы. Не учитываются эффекты аккумуляции и транслокации в экосистемах, отсутствует дифференциация по природно-климатическим зонам и т.д. В результате происходит наращивание экологически опасных производств и прогрессирует техногенная деградация природных комплексов. Все это определяет необходимость поиска иных подходов к регламентации техногенных нагрузок на экосистемы, которые разрабатываются в рамках экологического нормирования.

Конечный результат работ в области экологического нормирования - это экологические нормативы, которые в отличие от санитарно-гигиенических призваны защищать не только человека, но и окружающую среду в целом. Принципиально важно, что экологические нормативы не отрицают санитарно-гигиенических, а поглощают их. В то же время эколо-

гические нормативы, в отличие от санитарно-гигиенических, выражены именно в такой форме, которая позволяет их непосредственно использовать в управлении природопользованием.

6.2.1. Нормирование и стандарты в природопользовании

Нормирование и стандартизация являются важнейшими средствами регулирования природопользования, широко применяемыми как в отечественной, так и в зарубежной практике управления качеством окружающей среды. По своей сущности они относятся к административным методам регулирования. В последние годы в связи с развитием экономических методов они все чаще применяются в тесной взаимосвязи и расширяют диапазон возможностей органов управления и придают необходимую гибкость в достижении целей управления. Нормирование как процесс установления количественных пределов, в которых допускается изменение характеристик нормируемого объекта, тесно связано с понятием "норма". Общенаучного толкования этого понятия до настоящего времени: нет, поэтому в большинстве случаев оно рассматривается и определяется как среднее или через описание оптимального или патологии.

В любом случае нормирование осуществляется исходя из понимания человеком своих потребностей, которые удовлетворяются показателями рассматриваемого объекта, когда он считается нормальным, "хорошим". Затем выявляются границы количественных изменений показателей нормируемого объекта, т.е. определяется норма.

Под *экологическим нормированием* понимается научно обоснованное ограничение воздействия хозяйственной и иной деятельности на ресурсы биосферы, обеспечивающее как социально-экономические интересы общества, так и его экологические потребности. Экологические интересы с позиций ноосферного подхода диктуются необходимостью взаимосвязи параметров антропогенных воздействий с критическими параметрами биосферы в процессе коэволюции природы и человека, где Разуму отводится направляющая роль.

Разработанные и утвержденные в установленном порядке нормативы выступают в качестве стандартов. Единой классификации экологических нормативов (стандартов) пока не существует. Однако при генерализации можно выделить три основных категории экологических нормативов, используемых или разрабатываемых в целях природопользования: экологические нормативы экосистем, нормативы качества компонентов окружающей среды и нормативы антропогенных воздействий на окружающую среду, включая связанные с ними технические и технологические нормативы.

6.2.2. Экологические нормативы экосистемы

Под экологическим нормативом экосистемы понимается граница количественного изменения параметров экосистемы, устанавливаемая из условия сохранения ее структуры и функций, а также всех экологических компонентов, необходимых для учета в хозяйственной деятельности.

При определении параметров экосистем, подлежащих нормированию, исходят из основных и индикаторных признаков, которые характеризуют качество экосистемы. Это продуктивность, уровень разнообразия продукции необходимого качества, устойчивость. Конкретизация этих общих характеристик экосистем может приводить к выявлению других показателей, могущих быть индикаторами их качества. Например, "любой важный признак, характеризующий нетронутую систему, может рассматриваться как индикатор устойчивости".

Окончательного списка конкретных параметров экосистем, подлежащих экологическому нормированию, и критериев их выделения в настоящее время не существует.

6.2.3. Нормирование качества компонентов окружающей среды

Нормирование качества компонентов окружающей среды применяется на практике значительно шире. Теоретически этот вид нормативов должен зависеть как от ценности объектов, подлежащих охране, так и от целей их использования. Ю.А. Израэль разделяет все экосистемы на 3 категории:

1. Уникальные или заповедные;
2. Широко распространенные естественные;
3. Сильно преобразованные или искусственные.

Очевидно, что требования к качеству объектов окружающей среды при переходе от первого ко второму и третьему типу экосистем должны смягчаться. Цели использования также налагают ограничения на нормативы качества объектов окружающей среды. Например, земли, передаваемые под промышленную застройку, не требуют такого качества, как пахотные; к водным объектам, предназначенным для сплава и судоходства, не применяют нормативы воды питьевого качества и т.д. Экосистемный подход к нормированию качества компонентов окружающей среды требует учета природных взаимосвязей между ними, например путей миграции химических элементов, порогов воздействия на биоту и т.п. Так, нормативы содержания биогенов и пестицидов в почвах должны учитывать требования к качеству водных объектов, протекающих по сельхозугодьям.

Отличительной чертой экологического нормирования качества компонентов окружающей среды является учет следующих основных требований:

- необходимости защиты экологических систем и биологических сообществ в целом. При такой постановке вопроса потеря отдельных особей в популяциях не представляет опасности, если она не снижает потенциальной продуктивности, видового разнообразия, стабильности экосистемы;
- учета движения загрязняющих веществ по трофическим цепям с выделением «критического» по чувствительности и последствиям звена с учетом трансформации загрязняющих веществ и их совместного действия.

В связи с этим в основе экологического нормирования должны ле-

жать следующие основные принципы:

- принцип цели - приоритет долгосрочных последствий для общества и природы над краткосрочными экономическими интересами отдельных природопользователей, региональных интересов над локальными и т.д.;
- принцип опережения - организация исследований по разработке норматива должна предшествовать началу планируемого воздействия;
- принцип порога - установление критических пороговых значений воздействия хозяйственной деятельности, непревышение которых гарантирует сначала экологическую безопасность, а затем взаимодействие общественных и экологических систем;
- принцип саморегуляции - учет в хозяйственной деятельности не только положительных, но и отрицательных обратных связей, соблюдение баланса положительного и отрицательного экологических эффектов в системах стимулирования социально-экономического развития;
- принцип «слабого звена» – наиболее уязвимая компонента экосистемы, или процесс;
- принцип «больше не значит лучше» - переход на путь интенсификации технико-экономического развития за счет максимального качественного совершенства при минимальном количественном росте;
- принцип «джиу-джитсу» - максимальное использование внутрисистемных сил, способных действовать в нужном для общества направлении и компенсировать отрицательное антропогенное воздействие;
- принцип снижения удельного риска - развитие только таких направлений роста материального потребления, при которых обеспечивается снижение антропогенной нагрузки на единицу площади и единицу производимой продукции.

Экологические нормативы качества компонентов окружающей среды относятся к вторичным нормативам. В развитых странах вторичные нормативы понимаются как ограничители вредных воздействий, наносящих ущерб материальным и иным общественным ценностям.

В настоящее время в связи со слабой разработанностью нормативных актов в сфере хозяйственной деятельности, отставанием от развитых стран в общем уровне прикладных экологических исследований, которые используются в экологическом нормировании, система нормативов качества компонентов окружающей среды недостаточно проработана. Она включает в первую очередь санитарно-гигиенические регламенты качества компонентов среды.

Санитарно-гигиенические нормативы - это качественно - количественные показатели, соблюдение которых гарантирует безопасные или оптимальные условия существования человека. В связи с высокой социальной значимостью охраны здоровья человека санитарно-гигиеническое нормирование в нашей стране было разработано и внедрено в практику управления природопользованием хронологически первым. Например,

предельно допустимые гигиенические концентрации (ПДК) содержания в атмосферном воздухе первых 10 веществ были утверждены еще в 1951 году, тогда как национальные стандарты качества воздуха на содержание шести веществ в США были приняты в 1980 году. Таким образом методологическая база гигиенического нормирования в настоящее время является теоретически обоснованной, методически проработанной и организационно оформленной.

ПДК - количество загрязняющего вещества в окружающей среде, при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени не влияющее на здоровье человека и не вызывающее неблагоприятных воздействий у его потомства.

В настоящее время установлены ПДК для более 1000 химических веществ в воде, более 250 в атмосферном воздухе, более 30 в почве. Кроме того, для атмосферного воздуха установлены ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) для более чем 400 веществ. Гигиенические ПДК устанавливаются из принципа охраны здоровья человека и должны учитывать отдаленные последствия (мутагенные, канцерогенные и т.д.). В настоящее время устанавливаются следующие виды ПДК.

Максимально-разовая ПДК ($ПДК_{мр}$) - концентрация 20-30 - минутного осреднения атмосферного воздуха; определяется на основании изучения прежде всего рефлекторного действия веществ: обонятельной функции организма, функционального состояния зрительного анализатора и т.п.

Среднесуточная ПДК ($ПДК_{сс}$) - концентрация длительного осреднения определяется на основе изучения резобтивного (общетоксического, аллергического, гонадотоксического, эмбриотропного, мутагенного и т.п.) действия атмосферных загрязнений. $ПДК_{сс}$ является основным гигиеническим нормативом качества атмосферного воздуха.

Для водных объектов ПДК устанавливается в зависимости от целей водопользования. Различают ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого ($ПДК_{хп}$), культурно-бытового ($ПДК_{кб}$) и рыбохозяйственного водопользования ($ПДК_{рх}$). В основе регламентирования содержания загрязняющих веществ в водных объектах лежат тесты, учитывающие следующие показатели вредного воздействия:

- токсикологический - оценка влияния веществ на организм человека (для $ПДК_{хп}$, $ПДК_{кб}$) и гидробионтов ($ПДК_{рх}$);
- органолептический - оценка влияния веществ на органолептические показатели качества воды (цвет, запах и т.п.);
- общесанитарный - оценка влияния веществ на процессы самоочищения водных объектов.

Наименьшая допустимая по каждому тесту концентрация принимается в качестве ПДК с указанием лимитирующего показателя вредности, по которому она установлена.

ПДК для химических веществ устанавливается исходя из концентрации порога действия. Для определения ПДК строится зависимость доза -

эффект, по которой определяется минимально действующая и максимально недействующая концентрация. В качестве ПДК принимается подпороговая максимально недействующая концентрация с соответствующим коэффициентом запаса, установленным в зависимости от потенциальной опасности соединения. Коэффициент запаса чаще всего находится в диапазоне, примерно равном 2-10.

Определение ПДК осуществляется по наиболее чувствительным тестам. При этом концентрация, которая оказывает прямое или вредное косвенное воздействие или к которой адаптируется организм, признана недопустимой. Из аналогичных санитарно-гигиенических соображений исходят при нормировании допустимых нагрузок.

Сходные с ПДК критерии предлагаются с целью обеспечения регулирования допустимых воздействий на различные компоненты экосистем. В качестве параметров биоты используются наиболее важные с точки зрения выполнения биосферных и социально-экономических функций параметры; кроме того, в качестве опережающих индикаторов изменений анализируются наиболее чувствительные показатели. В анализ должны быть включены основные структурно-функциональные «блоки» экосистемы: почва, продуценты (древесный, моховой и травяно-кустарничковый ярусы, лишайниковый покров), консументы различных порядков (население птиц и мелких млекопитающих), деструкторы-редуценты. В качестве меры техногенной нагрузки используется функционал от приоритетных концентраций в природных депонирующих средах.

Анализ дозовых зависимостей дает возможность определять критические точки на траектории реакции экосистем и соответственно находить предельно допустимые дозы техногенной нагрузки. Под критической точкой в данном случае понимается область, где происходят быстрые изменения состояния экосистемы (т.е. экосистема теряет свою устойчивость и стремительно переходит из фонового в деградированное состояние). Довольно часто дозовые зависимости имеют S-образный вид. Таким образом, например, измененяется толщина слоя неразложившегося опада древесной и травянистой растительности в зависимости от удаленности от источника выбросов. Нелинейность реакции экосистем на техногенную нагрузку означает наличие двух метастабильных состояний (фонового и импактного), переход между которыми происходит по типу триггера. Соотнесение найденных величин критических нагрузок и существующих модулей поступления загрязнителей дает возможность рассчитать предельные величины выбросов.

Определение ПДК загрязняющих почву веществ осуществляется по ряду тестов, учитывающих показатели вредного воздействия: органолептические, общесанитарные, фитоаккумуляционные, миграционно-водные,

миграционно-воздушные, токсикологические. Минимальная из этих показателей допустимых концентраций принимается в качестве ПДК. Таким образом, при установлении ПДК для почв реализованы как гигиенические (через токсикологический показатель), так и некоторые экологические (через другие показатели) подходы к нормированию содержания загрязняющих веществ. Все вышеизложенные нормативы относятся к национальным, действующим на территории России.

В реальной жизни люди подвергаются целому комплексу факторов воздействий. При этом одновременное воздействие нескольких факторов одной природы определяется как комбинированное действие, факторов различной природы - сочетанное действие. В настоящее время в практике нормирования природопользования учитывается комбинированное действие (например, нескольких химических соединений, нескольких радионуклидов, нескольких источников шумовых нагрузок и т.д.) и комплексное (определяется суммарная доза облучения организма с учетом всех путей поступления радионуклидов).

В настоящее время учитывается эффект суммирования при действии 33 комбинаций вредных веществ в воздухе. В водных объектах эффект суммирования учитывается через лимитирующий показатель вредности. По другим эффектам имеются лишь обрывочные данные научных исследований, в нормативах они не учтены. Резюмируя практику регламентирования качества компонентов окружающей среды, следует отметить: разработка и установление качества компонентов окружающей среды осуществляются, главным образом, из санитарно-гигиенических принципов; санитарно-гигиенические нормативы не могут служить базой для защиты природных компонентов, так как не учитывают соотношения порогов чувствительности человека и других природных объектов, пренебрегают эффектами кумуляции и миграции, изменением химических форм в окружающей среде, региональными экологическими особенностями. Перспективы нормирования качества компонентов окружающей среды связаны с созданием единой системы эколого-гигиенического нормирования, где за норматив принимается наиболее жесткий количественный показатель для человека и различных экосистем.

Предметом нормирования при установлении квот изъятия охотничьих видов животных является их количество, разрешенное ежегодно к добыче в течение охотничьего сезона. Перечень видов охотничьих животных, численность которых подлежит регулированию, устанавливается департаментом по охране и использованию охотничьих ресурсов Министерства сельского хозяйства России. В настоящее время этот список содержит более 120 видов животных. Квоты добычи охотничьих животных устанавливаются из принципа обеспечения сохранности и воспроизводства популяций, динамика которых зависит как от условий окружающей среды, так и от особенностей самой популяции.

При этом учитываются:

- половозрастная структура популяции. Целесообразно сохранить соотношение молодых и взрослых особей, которое складывается в популяции до открытия охотничьего сезона;
- емкость охотугодий - соотношение между площадью хозяйства и численностью животных, а также допустимый предел, до которого плотность населения животных может быть доведена без ущерба как для экосистемы, так и для популяции;
- цикличность многолетних колебаний численности популяций и их минимальные размеры, ниже которых воспроизводственные возможности не реализуются;
- годичный прирост как баланс плодовитости и смертности в популяции, а также индекс прироста численности, т.е. количество молодых животных, которое приходится на взрослую особь;
- оценка незаконного объема промысла - браконьерство.

Определение допустимой квоты изъятия охотничьих животных осуществляется на основании ежегодных учетов, проводимых по методикам, утвержденным департаментом по охране и использованию охотресурсов.

При определении квоты вылова рыбы во внутренних водных объектах руководствуются статистическими методами. Ее вычисляют как среднюю многолетних (за 10 лет) данных по вылову рыбы. Нормативной методики определения не существует.

Важную роль в природопользовании имеют нормативы использования лесных ресурсов. Важнейшим нормативом, определяющим квоту изъятия лесных ресурсов, является расчетная лесосека. Расчетная лесосека - это возможный размер ежегодного пользования древесиной, являющейся основой лесопользования. Расчетная лесосека устанавливается исходя из непрерывности и неистощимости лесопользования, получения за оборот рубки (цикл, в течение которого вырубают все лесные участки данного хозяйства) максимального количества спелой древесины при относительной стабильности размера рубок. Она должна обеспечивать своевременное и рациональное использование запасов спелой древесины для народного хозяйства в лесоматериалах, улучшение возрастной структуры лесов, сохранение и усиление водоохранных, защитных и иных полезных природных свойств. Расчетная лесосека устанавливается по лесовосстановительным рубкам в лесах первой группы и по рубкам главного пользования в лесах второй и третьей групп. В лесах некоторых категорий защитности, где рубки главного пользования запрещены (лесные заповедники, национальные и природные парки, лесоплодовые насаждения, зоны санохраны источников питьевого водоснабжения, округа санитарной охраны курортов и т.п.), она не устанавливается. Расчетная лесосека определяется по освоенным и намечаемым к освоению в ближайшие 20 лет лесам, по каждому лесхозу, лесничеству района раздельно, по группам лесов и хозяйствам (хвойным, твердо-лиственным и мягколиственным) и устанавливается для

территории субъекта федерации в целом.

При определении расчетной лесосеки учитываются:

- породный и возрастной состав леса;
- способы рубки;
- площади молодняков, средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных насаждений;
- классы возраста;
- региональные правила рубки леса;
- период повторяемости выборочных рубок.

Важными нормативами природопользования, связанными с изъятием природных ресурсов, являются квоты использования недревесных видов растительности. Нормативной методики их определения не имеется. Их расчет основан на ведении соответствующих региональных кадастров. При этом на основании данных о промысловых угодьях, урожайности, величине продуктивной площади промысловых угодий и так далее определяются биологические (урожай) и промысловые запасы. Промысловые запасы оцениваются исходя из величины биологических запасов за вычетом массы, поедаемой животными и пропускаемой сборщиками в доступных угодьях. Они и являются нормой (квотой) изъятия природного ресурса. Такой способ установления нормы применим, например, к грибам, ягодам, лекарственно-техническому сырью и т.п. Информационной базой для расчета квот являются материалы лесоустройства и специальных исследований. Исключительно важное прикладное значение в предотвращении загрязнения окружающей среды имеют такие нормативы антропогенных воздействий, как предельно допустимый выброс (ПДВ) загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу и предельно допустимый сброс (ПДС) ЗВ в водные объекты. Эти нормативы являются вторичными по отношению к ПДК ЗВ в соответствующих компонентах окружающей среды и устанавливаются из условия их непревышения в точках (створах), регламентируемых методиками.

6.2.4. Нормирование выбросов в атмосферу

ПДВ - это научно-технический норматив, устанавливаемый из условия, что содержание ЗВ в приземном слое воздуха от источников или их совокупности не должно превышать нормативов качества воздуха для населения, животного и растительного мира. ПДВ устанавливается для каждого источника выброса ЗВ в атмосферу, а также в целом для предприятия при условии, что выбросы из источника, подлежащего нормированию, не создают превышающей ПДК (для особо охраняемых территорий и курортных зон 0,8 ПДК) концентрации с учетом других источников и перспективы развития населенного пункта (промузлов). В случае если фактические выбросы превышают ПДВ, вводится поэтапное снижение выбросов до значений, обеспечивающих соблюдение ПДК. При этом на каждом этапе сокращения выбросов устанавливается временно согласованный выброс (ВСВ) с учетом выбросов предприятий с наилучшей достигнутой техноло-

Теоретической основой расчета ПДВ в нашей стране является решение дифференциального уравнения атмосферной турбулентной диффузии примеси, в результате которого определяется поле приземных концентраций, создаваемое источником выброса. В мировой практике употребляются также методики, основанные на гауссовой модели распределения примесей, например методика Пасквилла, нормативная "Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий" (ОНД-86); она позволяет рассчитывать поле разовых концентраций примеси у земли при выбросе одиночного и группы источников: при нагретых и холодных выбросах, от точечных, линейных и площадных источников - и дает возможность учесть действие разнородных источников, суммирующее действие загрязняющих веществ.

Наиболее существенное влияние на приземную концентрацию оказывают масса выброса и высота трубы, поэтому чаще всего регулирование качества воздуха осуществляется через мероприятия по сокращению объема выбросов, увеличение высоты трубы допускается лишь в случаях, когда невозможна реализация активных мероприятий. Установление нормативов ПДВ в городах осуществляется на двух уровнях. На уровне предприятия они разрабатываются самим предприятием. На уровне города - головной городской организацией по установлению ПДВ, регулирующей весь процесс нормирования. В качестве головной городской организации может выступать комитет по охране природы. Процедура расчета ПДВ для предприятий включает следующие основные стадии:

1. Определение фоновых концентраций загрязняющих веществ, т.е. концентраций, обусловленных комплексом источников за вычетом нормируемых, определяется по методике, утвержденной Госкомгидрометом и Минздравом РФ, на основании данных наблюдений за загрязнением атмосферы, для населенных пунктов, где наблюдения не производятся, определяется расчетным путем.

2. Расчет приземных концентраций от комплекса источников выбросов нормируемого объекта с анализом полученного поля концентраций в сравнении с требуемым нормативом ПДК. Выявление веществ, по которым имеются зоны превышения ПДК, и источников, обусловливающих формирование повышенных концентраций.

3. Разработку мероприятий по снижению выбросов с целью достижения нормативного качества атмосферного воздуха.

4. Перерасчет приземных концентраций с учетом реализации мероприятий. Этапы 3 и 4 могут проводиться неоднократно, до достижения величины ПДК - $C_ф$ в приземном слое.

5. Установление ВСВ, ПДВ и этапов по достижению ПДВ с указанием конечного срока.

Изложенный порядок установления нормативов ПДВ позволяет вовлечь в процесс управления местные органы власти, осуществлять прогноз качества атмосферного воздуха и выдавать технические условия для вновь строящихся объектов. С экономической точки зрения он близок к рыноч-

строящихся объектов. С экономической точки зрения он близок к рыночным механизмам регулирования выбросов в США и позволяет гибко сочетать административный подход с экономическим (плата за выброс загрязняющих веществ в атмосферу).

В настоящее время существуют два подхода в области борьбы с атмосферным загрязнением.

Первый, получивший название «наилучших практически достижимых мер», состоит в том, что независимо от степени загрязнения воздуха предполагается внедрить наилучшие технологические мероприятия, достижимые на современном уровне развития техники.

Второй подход, названный «управлением качеством воздуха», предполагает наличие стандартов качества воздуха, на базе которых осуществляются все мероприятия по борьбе с загрязнением воздуха. В нашей стране признан данный подход, причем в качестве стандартов рассматриваются нормативы качества атмосферного воздуха населенных мест, а нормирование по этой причине является санитарно-гигиеническим. Однако этот подход включает в себя и внедрение самых современных технологических мероприятий, хотя определяющими все же являются стандарты качества воздуха.

Узость подхода и ряд недостатков (не учитываются региональные различия при установлении ПДК, экологический риск, реакции экосистемы в целом на воздействие и др.) привели к тому, что несколько лет назад была разработана концепция экологического нормирования, включающая в себя и санитарно-гигиеническое.

6.2.5. Нормирование сбросов в водные объекты

ПДС - масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения качества воды в контрольном пункте. ПДС устанавливается с учетом ПДК в местах водопользования, ассимилирующей способности водного объекта и оптимального распределения массы сбрасываемых веществ между водопользователями, сбрасывающими сточные воды.

Принцип установления ПДС как норматива антропогенных воздействий на водные объекты аналогичен нормированию атмосферных загрязнений - соблюдение ПДК. При этом в качестве контрольных створов принимаются: для водных объектов хозяйственно-питьевого и коммунально-бытового назначения - створ в 1 км выше первого по течению пункта водопользования; для водных объектов рыбохозяйственного назначения – створ на расстоянии не более 500 м ниже места сброса сточных вод. Сброс сточных вод в зоны и округа санитарной охраны водозаборов курортных зон запрещен, поэтому ПДС для сточных вод, сбрасываемых в эти зоны, не устанавливается.

Величина ПДС определяется для всех категорий водопользователей как произведение максимального часового расхода сточных вод на кон-

центрацию в них загрязняющих веществ, которая рассчитывается исходя из моделей рассеивания веществ в водных объектах.

В случае, если фактический сброс вещества меньше расчетных ПДС, в качестве ПДС принимается фактический сброс. Если природное фоновое содержание веществ выше ПДК, то ПДС устанавливается из условия неухудшения фонового качества воды. Данные о фоновом качестве воды запрашиваются в органах Росгидромета. Если на одном участке водотока ведется разная хозяйственная деятельность, то выбираются наиболее жесткие ПДК.

Для сточных вод, отводимых в системы муниципальной канализации, технические условия на сброс устанавливаются их владельцами из условия обеспечения сброса сточных вод с соблюдением ПДС.

В случае, если для действующих предприятий их фактический сброс превышает ПДС, местные органы Минприроды и Роскомвода по согласованию с органами Госсаннадзора могут устанавливать лимиты (временно согласованные сбросы) на период достижения ПДС за счет реализации мероприятий, которые разрабатываются водопользователями.

По аналогии с комплексным нормированием выбросов загрязняющих веществ в атмосферу целесообразно проводить нормирование сбросов в целом по бассейну реки. Установленные по такой процедуре нормативы ПДС являются региональными.

6.2.6. Нормирование обращения с твердыми отходами

Не меньшее значение для предотвращения загрязнения окружающей среды имеет нормирование обращения с твердыми отходами производства и потребления.

Методологическая и методическая база обращения с твердыми отходами в целях защиты окружающей среды менее проработана, чем с выбросами и сбросами загрязняющих веществ. "Временными правилами " устанавливается лишь необходимость разработки и соблюдения лимитов размещения отходов, т.е. такого их количества, которое допускается размещать в установленных местах в течение года. Лимиты размещения отходов разрабатываются природопользователями с учетом обоснования реальных объемов их образования, невозможности утилизации, класса опасности, экологической безопасности мест размещения и т.д. Обоснование рассматривается и утверждается территориальными органами Минприроды с учетом согласования их органами по охране и регулированию использования недр, водных ресурсов, Госсанэпиднадзора, Госгортехнадзора.

Кроме важнейших нормативов антропогенных воздействий, о которых речь шла выше, в практике природопользования применяются многочисленные прямые и косвенные запреты, ограничения, условия. Они касаются порядка использования территории (нормы на функциональное зонирование территории, определяемые в нормативных документах, регулирующих архитектурно-планировочную деятельность), норм воздействий отдельных видов хозяйственной деятельности на окружающую среду (от-

раслевые правила и стандарты), технических и технологических параметров на оборудование и материалы, используемые как в производстве продукции, так и в технике защиты окружающей среды. Следует отметить, что стандарты на технологические процессы и оборудование в развитых странах распространены значительно шире, чем в России.

Доработка нормативных документов по обращению с твердыми отходами позволит обеспечить методическое единство в системе нормирования газообразных (ПДВ), жидких (ПДС) и твердых отходов (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Нормативы антропогенных воздействий

Вид воздействия	Норматив	Принцип установления	Лимит	Принцип установления
1. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу	ПДВ	Соблюдение ПДК в приземном слое атмосферы	ВСВ	Временность, наличие мероприятий по достижению ПДВ
2. Сброс загрязняющих веществ со сточными водами	ПДС	Соблюдение ПДК в контрольном створе	ВСС	Временность, наличие мероприятий по достижению ПДС
3. Размещение твердых отходов	ПДРО	Соблюдение ПДК в воздухе, воде, почве	ВСРО	Временность, наличие мероприятий по достижению ПДРО

Очевидно, не копируя опыт зарубежных стран в полном объеме (его часто необоснованная затратность подвергалась серьезной критике), следует отметить необходимость расширения экологического нормирования в сфере материального производства.

6.2.7. Нормативно - техническая документация

Многочисленные нормы, правила, регламентации природопользования изложены в утвержденных в установленном порядке документах. Наиболее распространенными из них являются строительные нормы и правила (СНиП), государственные стандарты (ГОСТ), нормы и правила, устанавливаемые государственными органами управления природопользованием (Минприроды, Госсанэпиднадзор, Федеральная служба охраны лесов и т.д.). Единого кадастра норм и свода методик экологического нормирования не имеется, поэтому количество их не поддается точному счету. Имеются данные о более 800 документах, в которых рассредоточены природоохран-

СНиПы устанавливают требования к проектированию и строительству объектов, в том числе и в части охраны окружающей среды. При этом в большинстве СНиПов преобладает подход к нормированию воздействий неблагоприятных природных факторов на строящиеся сооружения. Требования к влиянию объектов на окружающую среду чаще носят общий характер или содержат ссылку на требование контролирующих органов или более конкретные документы.

ГОСТы определяют организационные, технические, методические и иные требования по охране окружающей среды. Среди них с 1976 года действует система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов, которая содержит более 70 государственных и около 40 отраслевых стандартов.

Нормы и правила по охране окружающей среды и регулированию природопользования, обязательные для исполнения всеми природопользователями, устанавливаются органами управления природопользованием.

6.3. Лицензирование природопользования

Система экологического контроля и обоснования хозяйственной деятельности реализуется через форму выдачи специальных разрешительных документов - лицензий. Лицензирование представляет собой элемент административно-правового метода регулирования природопользования, в лицензиях фиксируются конкретные ограничения, условия потребления природных ресурсов и пользования объектами природы.

В настоящее время лицензирование природопользования в стране представлено в основном разрешениями на право добычи, изъятия ресурсов природной среды и пользования ими, а также на право сбросов, выбросов в атмосферу и водную среду, складирование отходов, на право компенсационного природопользования. Такое разрешение выдается на основе кадастров природных ресурсов, определения приоритетов использования природных ресурсов; обоснования и установления лимитов потребления и пользования, ограничений, фиксируемых в лицензиях, которые выдаются природопользователю после соответствующего положительного заключения экологической экспертизы намечаемой или осуществляемой хозяйственной деятельности. Таким образом, лицензия выполняет функции учета природопользователей, контроля за потреблением природных ресурсов и распоряжением ими после получения лицензии.

В настоящее время процесс лицензирования охватывает все основные виды природопользования. Практически завершено лицензирование пользования недрами. Безлицензионная добыча пока все еще осуществляется в большинстве случаев для подземных вод.

В соответствии с законом РФ «Об охране окружающей природной среды» осуществляется лицензирование на специальное и на комплексное природопользование. Специальные лицензии выдаются специальными государственными органами и органом самоуправления в регионе и дают право на пользование данным (одним) видом ресурса на определенных ус-

право на пользование данным (одним) видом ресурса на определенных условиях в определенном месте. Так, например, органы Роскомнедр выдают разрешение на пользование недрами; территориальные органы Министерства природных ресурсов выдают разрешение на спецводопользование; разрешение на сбросы, выбросы, складирование отходов, на землепользование выдается земельными комитетами; на отстрел животных, лесные и лесорубочные билеты - органами лесного хозяйства.

В том же законе установлено лицензирование на комплексное природопользование, включающее ограничения, условия, нормирование. Лицензия на комплексное природопользование (использование природных ресурсов и хозяйственная деятельность, наносящие минимальный ущерб другим ресурсам и минимальное воздействие на окружающую природную среду) в отличие от специальных лицензий не дает право на конкретный вид природопользования, а только регулирует его условия, такое специальное разрешение следует получить отдельно.

Этому виду лицензии предоставлены функции нормативно-правового документа, позволяющего контролировать масштабы, характер воздействия природопользователя на окружающую природную среду. Лицензия на комплексное природопользование является основанием для последующего заключения договора между природопользователем и контролирующим органом на право пользования отдельным природным ресурсом (специальная единовременная лицензия).

6.4. Экологическая сертификация

Общественное развитие неминуемо будет вносить изменения в экосистемах, воздействовать на их балансы, вызывая их возмущение, реакцию на это, причём не везде ту, которую могут ожидать сами «возмутители». Это особенно характерно для развития рыночных отношений, в которых появление всё новых и новых субъектов хозяйствования не сопровождается адекватными мероприятиями по компенсации воздействия на балансы в экосистемах. Применяемые технологии не претерпевают существенных улучшений, так как преобладает принцип сиюминутной выгоды на основе чрезмерной нагрузки на природную среду, недостаточность контроля этой нагрузки со стороны государства, общества. Растет количество экологических катастроф, и их последствия все более развиваются в геометрической прогрессии, подрывается воспроизводственная основа общества. Сохранение устаревшей технологии вызвано также тем, что из-за социальной напряженности не представляется возможным ее изменение, поскольку она обеспечивает выпуск продукции, имеющей стратегическое, национальное, региональное значение, и является сферой приложения труда большой части населения. В этой обстановке продолжается ухудшение качественных показателей условий жизнедеятельности, хотя природопользователи вовлечены в первый этап платного природопользования, выплачивают штрафы, компенсации. В связи с этим в условиях повышенного риска объективна необходимость создания гарантий ее снижения.

В системе экономического механизма рационального природопользования как прототипы рыночно-хозяйственного решения проблемы загрязнения окружающей среды действуют так называемые экологические сертификаты. *Экологический сертификат* - документ, выданный заявителю органом системы по сертификации, подтверждающий факт соответствия сертифицированного объекта установленным требованиям и природоохранным законам.

Теоретическое обоснование и разработка соответствующей модели относятся к началу 60-х годов и связаны с именем американского ученого Дж. Г. Дейлза (J.H. Dales). В начале 70-х годов эти исследования стали известны в ФРГ. Сторонники экологической сертификации исходят из представления, что экологические проблемы возникают из-за того, что ландшафты, воздух, вода и почва используются в производственном процессе как свободные факторы производства, т.е. бесплатно, и соответственно бесплатно же принимают в себя вредные выбросы, поэтому для предпринимателя нет свойственного системе рыночного хозяйства стимула препятствовать загрязнению окружающей среды. Из этого следует вывод, что для превращения окружающей среды в экономический фактор она должна быть оценена и вовлечена в рыночно-хозяйственную систему налогообложения. К практикуемым разновидностям сертификационной модели относятся американская компенсационная политика и компенсационное решение.

В большинстве западных стран система контроля за вредными воздействиями, оказываемыми предприятиями на природную среду, строится по принципу регулярного мониторинга за сбросами и выбросами, системы экологического аудита и системы сертификации по экологическим требованиям. В России в настоящее время системы обязательного экологического аудита и экологической сертификации не существует, но предусмотрена плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, за сбросы загрязняющих веществ в водные системы, за размещение отходов. Причем если количество загрязняющих веществ того или иного производства не превышает установленных норм, то плата за них незначительная, но если зарегистрировано их превышение, то плата может быть увеличена в 40 раз. Сейчас в правительстве готовится к принятию решение об обязательном экологическом аудите и экологической сертификации.

Сертификация по экологическим требованиям - деятельность по оценке и подтверждению соответствия объекта сертификации природоохранным требованиям, установленным действующими нормативными правовыми актами.

Экологический сертификат - документ, выданный заявителю органом системы по сертификации, подтверждающий факт соответствия качества продукции, услуг, производства работ, процессов с точки зрения нормативов, правил, требований рационального природопользования сертифицированного объекта установленным требованиям и природоохранным законам.

Экологическая сертификация - неотъемлемый элемент механизма управления природопользованием и осуществляется для выполнения следующих задач:

- реализации обязательных экологических требований природоохранного законодательства при размещении, проектировании, строительстве и эксплуатации предприятий, сооружений и иных объектов;
- внедрения экологически безопасных технологических процессов, оборудования и производств;
- обеспечения экологической безопасности окружающей среды при размещении, переработке, транспортировке, ликвидации и захоронении отходов производства и потребления;
- предотвращения загрязнения и засорения объектов окружающей среды при производстве, эксплуатации и ликвидации всех видов продукции;
- установления статуса экологического сертификата и экологического Знака соответствия как гаранта экологической безопасности;
- предотвращения ввоза в регион экологически опасной продукции, технологий, отходов и услуг;
- обеспечения рационального использования, охраны, воспроизводства природно-ресурсного потенциала;
- защиты потребителей от приобретения товаров (работ, услуг), опасных для жизни, здоровья и имущества или оказывающих вредное воздействие на окружающую среду в процессе их использования или утилизации;
- повышения конкурентоспособности отечественной продукции, содействие экспорту;
- координации деятельности организаций и учреждений по проблемам экологически безопасного экономического развития;
- предупреждения неблагоприятного воздействия на жизнь и здоровье человека и состояние окружающей природной среды факторов, связанных с процессом производства и использования продукции, утилизации отходов производства и потребления, разработкой и использованием природных ресурсов;

Система экологической сертификации взаимодействует на основе Соглашения с Госстандартом и Системой сертификации ГОСТ Р, а также базируется на международных правилах сертификации ИСО, что будет способствовать обеспечению признания сертификатов за рубежом и содействовать интеграции отечественной и мировой экономики.

В основе системы сертификации лежат следующие принципы:

- обязательность - сертификация проводится по перечням объектов в соответствии со списком, утверждаемым в установленном порядке Министерством природных ресурсов;
- объективность - результаты сертификации должны отражать реальное состояние объекта и быть воспроизводимыми, исключается дискриминация и предоставление преимуществ каким-либо предприятиям;

- независимость - исключается влияние каких-либо юридических или физических лиц на результаты сертификации;
- системность - за каждым сотрудником органа сертификации закреплены определенные права, функции и сферы деятельности, установлены и реально действуют взаимосвязи, обеспечивающие эффективность функционирования в целом;
- рациональность структуры – орган сертификации строится с учетом рационального использования сложившейся структуры размещения и территориальных органов Министерства природных ресурсов и обеспечивает минимизацию затрат на проведение работ по экосертификации;
- конфиденциальность - сведения, полученные в рамках выполнения работ, представляющих коммерческую тайну, не подлежат разглашению вне органа сертификации.

Правилами органа сертификации предусматривается:

- обеспечение на основе соглашений с другими органами сертификации взаимного признания сертификатов, аттестатов, Знаков соответствия и результатов испытаний и анализов;
- разработка и актуализация нормативно-методической документации;
- взаимодействие с международными и национальными системами сертификации, гармонизация документации в этой области, возможность присоединения органа сертификации к соответствующим международным системам сертификации.

Нормативными правовыми актами, определяющими правовую основу Системы сертификации, являются:

- Конституция Российской Федерации;
- законы Российской Федерации, указы президента Российской Федерации;
- постановления правительства Российской Федерации;
- нормативные правовые акты, зарегистрированные в Министерстве юстиции Российской Федерации, приказы Министерства природных ресурсов России и территориальных природоохранных органов;
- система ГОСТ Р ИСО 1400 «Система управления окружающей средой».

Документами на соответствие требованиям экологического сертификата и/или экологического заключения, являются следующие обязательные к применению действующие документы:

- государственные стандарты, экологические нормативы и правила, санитарные правила и нормы, строительные нормы и правила, рыбохозяйственные нормативы;
- международные и национальные документы - Директивы ЕС, Правила ООН, международные стандарты ИСО;
- технологические регламенты, стандарты предприятий и др.

Сертификация систем экологического управления, производств, продукции и отходов производится на соответствие нормативам предельно допустимых вредных воздействий на окружающую природную среду, включая экологические требования к продукции, которые утверждаются, согласно закону РСФСР "Об охране окружающей природной среды", специально уполномоченными на то государственными органами Российской Федерации в области охраны окружающей природной среды, санитарно-эпидемиологического надзора по согласованию(представлению) с государственной агрохимической службой Российской Федерации.

Экологические сертификаты выдают на системы экологического управления, производства (регламентируемые государственными стандартами серии ГОСТ Р ИСО 14000), отходы и отдельные виды продукции (регламентируемые государственными стандартами системы № 17 "Охрана природы").

Экологические заключения выдают на отдельные виды продукции, содержащие особо опасные вещества (озоноразрушающие вещества, диоксины, фураны и пр.), вещества - массовые загрязнители окружающей среды (соединения серы, свинца, окись углерода и пр.), а также на виды продукции, которая в своем наименовании имеет характеристики «Экологически чистая», «Экологически безопасная» в соответствии с ГОСТ Р 51074-97 «Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования» и ГОСТ Р 51121-97 «Товары непродовольственные. Информация для потребителя. Общие требования».

Таким образом, Система экологической сертификации взаимодействует на основе Соглашения с Госстандартом и Системой сертификации, а также базируется на международных правилах сертификации ИСО, что будет способствовать обеспечению признания сертификатов за рубежом и содействовать интеграции отечественной и мировой экономики.

Единая система экологической сертификации распространяется на всех субъектов хозяйственной деятельности, продукция, товары (работы, услуги) которых могут нанести ущерб здоровью населения и окружающей среде. Обязательной сертификации подлежат продукция, товары (работы, услуги), в государственных стандартах на которые есть требования к их экологической безопасности.

6.5. Экологический аудит

Разработка в ряде государств, в том числе и в Российской Федерации, национальных концепций устойчивого развития, направленных на сбалансированное решение перспективных социально-экономических задач и сохранение благоприятного качества окружающей среды, предполагает усиление экологической составляющей экономики и гармонизацию экологических и экономических интересов общества в целом. Одной из задач интеграции России и других государств с переходной экономикой в систему мирового рыночного правопорядка и международной экологической безопасности, усиление требований законодательства в области охра-

ны окружающей среды и другие факторы выдвигают в качестве приоритета развитие нового направления аудиторской деятельности - экологического аудирования (аудита). Тем самым экологический аудит становится важным инструментом обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития и является неотъемлемой составной частью механизма управления охраной окружающей среды и природопользованием, учитывает обеспечение прав собственности, чрезвычайно важен для экономики, так как позволяет уменьшить экологический, информационный и коммерческий риск, связанный с принятием хозяйственных решений. Экологический аудит реализует цель выработки рекомендаций по эффективному использованию ресурсов и обеспечению качества окружающей среды.

Экологический аудит - независимая, объективная вневедомственная оценка соответствия деятельности хозяйствующих субъектов и состояния окружающей среды требованиям действующего природоохранного законодательства, нормативных и правовых актов, методических и регламентирующих документов в области охраны окружающей среды и природопользования;

Экологическое аудирование - вид предпринимательской деятельности, включающий в себя комплекс организационных, научных, методических и других мероприятий (действий), обеспечивающих проведение экоаудита.

Анализ международного опыта свидетельствует о широком практическом применении государствами процедуры экологического аудирования в качестве средства получения и оценки экологической информации о предприятии или ином хозяйственном объекте с целью выработки необходимых корректирующих мер и принятия решений на различных уровнях управления охраной окружающей среды и природопользованием.

Развитие и распространение процедур экологического аудита за рубежом обусловлены главным образом ужесточением экологического законодательства, унификацией требований и стандартов в области торговли, выработкой общей кредитной и финансовой политики в связи с созданием единого экономического и экологического пространства. Невыполнение указанных требований может явиться причиной значительных финансовых и других потерь.

Экологический аудит, изначально введенный в экономически развитых государствах в 70-е годы как средство защиты интересов предпринимательских структур, направлен на снижение уровня риска для окружающей среды и здоровья людей, а также на содействие в регулировании мер в области охраны окружающей среды. С середины 80-х годов Международная торговая палата рассматривает экологический аудит в качестве метода внутреннего административного управления, средства усиления контроля за производственной практикой, оценки соответствия стратегий деятельности компаний нормам экологического права. К началу 90-х годов многие коммерческие банки стали использовать экологический аудит в целях предупреждения риска неплатежей по ссудам своих заемщиков и банкротства

в связи с их деятельностью, связанной с воздействием на окружающую среду. Так, Всемирный банк и Европейский банк реконструкции и развития успешно используют экологический аудит для оценки деятельности финансируемых ими компаний и структур. Решение этих банков о выделении инвестиций принимается с учетом полученных заключений экологического аудита и выполнения соответствующих мероприятий в области охраны окружающей среды.

В ряде стран начиная с 90-х годов приняты национальные стандарты и специальные законодательные акты в области экологического аудирования. Основные принципы и положения экологического аудита получили развитие в руководстве Европейского Союза по экологическому менеджменту и экологическому аудиту. Данная программа, которая вступила в силу в апреле 1995 г., принята с целью совершенствования деятельности участвующих в ней промышленных компаний за счет использования систем управления окружающей средой, регулярного проведения экологического аудита и обнародования заявлений о воздействии на окружающую среду. В настоящее время более 8 тыс. европейских компаний и фирм присоединились к данной схеме экологического менеджмента и экоаудита.

В 1996 году был принят комплекс из шести международных стандартов ИСО серии 14000, охватывающий вопросы экологического аудирования и системы управления (менеджмента) окружающей средой. Это наиболее динамично развивающаяся система.

Если за рубежом экологический аудит стал реальным инструментом управления, то в России работа по формированию правовой и нормативной базы, созданию соответствующих стандартов и документов в данной области только начинается, хотя определенный практический опыт в этом направлении имеется. Развивающиеся в стране процессы, связанные с внедрением рыночных отношений, переход на принципы устойчивого развития, процесс привлечения инвестиций, осуществление программ приватизации и реструктуризации государственных и муниципальных предприятий требуют применения соответствующих общепринятых в мировой практике экологических процедур.

К основным целям и задачам в области экологического аудита с учетом международной практики относится:

- получение достоверной информации о деятельности субъектов хозяйствования в области природопользования и охраны окружающей среды;
- проведение объективной оценки соответствия аудируемого объекта (оцениваемых видов деятельности) требованиям законодательства, нормативных актов, а также требованиям в области окружающей среды и природопользования;
- содействие субъектам хозяйственной деятельности в самостоятельном регулировании своей экологической политики, формировании приоритетов по осуществлению предупредительных мер, направленных на выполнение экологических требований, норм и правил;

- создание инструмента реализации основных направлений регулирования природопользования и обеспечения устойчивого развития;
- интеграция деятельности в области охраны окружающей среды с другими сферами деятельности.

Экологический аудит тесно связан с экологическим менеджментом - управлением окружающей средой или управлением охраной окружающей среды.

Экологический менеджмент и экоаудит в процессе перехода экономики на новые методы хозяйствования выполняют ряд важных функций, которые охватывают реструктуризацию производства, процесс приватизации, создание экологически конкурентной среды и рыночного ценообразования. Все эти процессы осуществляются с учетом экологических издержек производства, а также функции программно - целевого распределения финансовых ресурсов, децентрализации управления, гибкого нормирования и налогообложения с учетом экологических факторов.

Перечисленные функции экологического менеджмента распространяются на следующие виды экологического аудита:

- оценку экологической обстановки (состояния окружающей среды) на предприятии;
- оценку соответствия деятельности предприятия требованиям законодательства и нормативных актов в части охраны окружающей среды и природопользования;
- экологический аудит процессов вывода предприятий и производств из эксплуатации (например, при реструктуризации отрасли экономики) с учетом их экологического состояния;
- оценку экологического риска, приоритетных мероприятий по экологическому оздоровлению предприятий, которые приватизируются;
- оценку экологических затрат и экологических издержек;
- оценку и защиту корпоративных интересов;
- оценку условий экологического страхования.

Объектами экоаудита являются:

- проектная и техническая документация, реализация которой может оказать неблагоприятное воздействие на здоровье населения, природные ресурсы, окружающую среду;
- хозяйствующие субъекты, деятельность которых может оказывать воздействие на состояние окружающей природной среды,
- виды деятельности, связанные с охраной природы, природопользованием, обеспечением экологической безопасности;
- экологически опасные действующие объекты, системы, комплексы, в том числе военного и оборонного значения;
- инвестиционные и приватизационные программы и проекты развития предприятий, учреждений и организаций независимо от форм собственности и подчиненности;

- кредитные соглашения, подрядные контракты, реализация которых может привести к нарушению экологических нормативов, отрицательному влиянию на состояние окружающей среды и здоровье населения;
- системы управления окружающей средой.

Нормативными правовыми актами, определяющими правовую основу Системы экологического аудита, являются:

- Конституция Российской Федерации;
- законы Российской Федерации, указы президента Российской Федерации;
- постановления правительства Российской Федерации
- нормативные правовые акты, зарегистрированные в Министерстве юстиции Российской Федерации приказы Министерства природных ресурсов России и территориальных природоохранных органов;
- система ГОСТ Р ИСО 1400 «Система управления окружающей средой».

Документами на соответствие требованиям экологического сертификата и/или экологического заключения являются следующие обязательные к применению действующие документы:

- государственные стандарты, экологические нормативы и правила, санитарные правила и нормы, строительные нормы и правила, рыбохозяйственные нормативы;
- международные и национальные документы - Директивы ЕС, Правила ООН, международные стандарты ИСО;
- технологические регламенты, стандарты предприятий и др.

Предприятие, прошедшее экологический аудит и имеющее заключение о соответствии своей природоохранной деятельности существующему природоохранному законодательству, имеет право:

- получать экономическое стимулирование, предоставляемое в пределах их полномочий главой администрации субъекта Российской Федерации и/или руководителем территориального природоохранного органа;
- рекламировать в средствах массовой информации свою продукцию как экологически безопасную, используя полученное заключение об экологическом аудите;
- наличие у предприятия заключения об экологическом аудите учитывается при установлении для него ставок платежей в рамках экологического страхования.

Аудит рассматривается не только в комплексе мер охраны окружающей природной среды (природных объектов) от негативного воздействия при осуществлении техногенной деятельности, но и в комплексе мер по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в частности от негативного воздействия природных объектов («вторичного» источника опасности для населения и тер-

риторий), способствуя нейтрализации экологической угрозы с их стороны жизненно важным интересам личности, общества и государства.

Организация деятельности по экологическому аудированию как вида предпринимательской деятельности должна соответствовать нормам гражданского законодательства, уголовного законодательства и Временным правилам аудиторской деятельности в Российской Федерации.

При обосновании содержания (процедур) экоаудита следует учитывать требования международных стандартов по экологическому учету и аудиту, российский и зарубежный опыт экологического аудирования.

6.6. Экологическое страхование - элемент экономического механизма природопользования

В системе экономических механизмов рационального природопользования, внедряемых в стране, важное место должно занимать экологическое страхование, представляющее собой экономические отношения, направленные на защиту имущественных интересов юридических лиц, граждан при проявлении экологических неблагоприятных последствий, а также на проведение превентивных природоохранных мероприятий. Доля случайных, непредвиденных обстоятельств и процессов в общем объеме загрязнения окружающей природной среды составляет до 30%.

Процесс экологического страхования имеет целью обеспечение гарантий компенсации (в меру достигнутых возможностей социально-экономического развития производительных сил общества) убытков от аварийного, непреднамеренного загрязнения окружающей природной среды природопользователями и дополнительного источника финансирования природоохранных мероприятий.

Экологическое страхование объединяет интересы всех сторон, заинтересованных в рациональном природопользовании:

- государства, представляющего интересы всего населения в поддержании оптимальных условий жизнедеятельности;
- так называемых третьих лиц (юридических и физических), которые могут понести убытки от непредвиденных аварийных случаев загрязнения природной среды;
- самих предприятий (страхователей) - природопользователей, по вине которых возможно такое внезапное загрязнение.

Интересы населения, государства в этом процессе представляет страховщик - страховая организация, получающая лицензию на такой вид деятельности.

В соответствиисЗаконом РФ «Об охране окружающей природной среды» и «Типовым положением о порядке добровольного экологического страхования в РФ» функции страховщика, предоставляющего страховую защиту ответственности за ущерб (убытки), причиненный третьим лицам, возложены на страховые организации, а страхователями являются предприятия, учреждения, организации, имеющие производственные мощности на территории РФ, являющиеся юридическими лицами и потенциально

представляющие экологическую опасность.

Основой экологического страхования является соблюдение главного принципа: максимального предотвращения убытков третьих лиц; поддержания экономических интересов самого страхователя в виде гарантии сохранения собственных ресурсов и возможности дальнейшего функционирования; заинтересованности страховщика в минимизации страхового возмещения и максимального использования создающихся финансовых ресурсов на осуществление природоохранных мероприятий.

В экологическом страховании объектом страхования является риск гражданской ответственности, выражающийся в предъявлении страхователю имущественных претензий физическими или юридическими лицами в соответствии с нормами гражданского законодательства о возмещении ущерба за загрязнение земельных угодий, водной среды или воздушного бассейна на территории действия конкретного договора страхования.

Страховое событие (случай) - внезапное, непреднамеренное нанесение ущерба окружающей природной среде в результате аварии, приведшей к неожиданному выбросу загрязняющих веществ в атмосферу, к загрязнению поверхности, сбросу сточных вод.

Перед определением суммы страхования проводится полный экоаудит потенциального страхователя. В соответствии с «Типовым положением ...» страховая оценка, определяемая для экологического страхования, представляет собой размер годового оборота предприятия. Под годовым оборотом понимается выручка от реализации продукции и оказания услуг, а также проведение каких-либо побочных операций.

Страховые платежи исчисляются путём умножения годового оборота предприятия в стоимостном выражении на тарифную ставку. Страховые платежи первоначально взимаются исходя из ожидаемого (планируемого) годового оборота, а по окончании года делается перерасчёт с учётом фактических результатов деятельности страхователя.

Тарифные ставки страхования дифференцируются в зависимости от отрасли производства, в которой работает предприятие, пожелавшее заключить договор экологического страхования.

Ставки также дифференцируются внутри одной отрасли в зависимости от степени риска производственного процесса и проведения превентивных мероприятий на каждом отдельно взятом предприятии.

Обязательными условиями наступления страхового события, т.е. объявления случая именно таковым и выдачи соответственно страховой выплаты являются: реальное отсутствие возможности принятия предупредительных мер и непреднамеренность (отсутствие умысла) со стороны страхователя. При отсутствии данных условий страхователь лишается права на получение страхового возмещения, например, страхователь предупреждался соответствующими органами экологического контроля, надзора о возможностях аварии, о потенциальной опасности, но не принял соответствующих и своевременных мер.

Страховое возмещение выплачивается в размерах, предусмотренных

действующим гражданским законодательством и определяемых в результате рассмотрения дел в судебном или другом предусмотренном порядке. Страховое возмещение включает:

- компенсацию ущерба, вызванного повреждением или гибелью имущества;
- сумму убытков, связанную с ухудшением условий жизни и окружающей среды;
- расходы по очистке загрязнённой территории и приведению её в состояние, соответствующее нормативам, при условии, что на них дано предварительное согласие страховщика;
- расходы, необходимые для спасения жизни и имущества лиц, которым в результате страхового случая причинён вред, или расходы по уменьшению ущерба, причинённого страховым случаем;
- связанные с предварительным расследованием, проведением судебных процессов и другие расходы по улаживанию других исков, предъявляемых страхователю, которые могут быть предметом возмещения по договору, при условии, что на них дано предварительное согласие страховщика.

Убытки, не возмещаемые страховщиком:

- связанные с генетическими последствиями загрязнения окружающей природной среды;
- причинённые работникам страхователя во время их нахождения на службе (работе);
- связанные с действием причин, о которых страхователю было известно до начала действия договора;
- штрафы, неустойки и т.д.;
- ущерб имуществу, находившемуся на территории, принадлежащей, занимаемой, используемой страхователем, или находящемуся под его охраной или контролем.

6.7. Эколого-экономическая экспертиза

Идея экологической экспертизы первоначально была реализована в США в принятом в 1969 г. «Акте о национальной политике в области окружающей среды». В последующие годы она получила признание на международном уровне, и в настоящее время экологическая экспертиза рассматривается во всем мире как неотъемлемая часть превентивной природоохранной политики.

В соответствии с Законом РФ «Об экологической экспертизе» *экологическая экспертиза* - установление соответствия и допустимости намечаемой хозяйственной или иной деятельности экологическим требованиям для предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую природную среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы.

Основной смысл экологической экспертизы - всесторонняя предварительная проверка и максимальное предупреждение возможных негативных последствий намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую природную среду, на здоровье человека, условия его проживания, значимых для окружающей среды мероприятий как частного, так и общественного характера. Экологическая экспертиза должна проводиться на всей территории России для всех проектов строительства и реконструкции. План застройки может быть отвергнут, если в нем не учтены или проигнорированы интересы охраны окружающей среды.

Смысл предупредительной функции экологической экспертизы в предварительной проверке и установлении соответствия хозяйственной деятельности требованиям рационального природопользования, экологической безопасности, причем эта деятельность осуществляется специально создаваемой комиссией под контролем органов охраны природы, т.е. имеет законодательную силу и обязательность выполнения.

Экологический риск имеет место всегда в виде принципа потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной или иной деятельности. В то же время необходимо иметь в виду, что никакая деятельность человека не может не сопровождаться вмешательством в природную среду или быть вне природной среды, не внося изменений в нее.

Содержание *экологического риска* представляется как допущение вероятности причинения вреда природной среде ради достижения экономического эффекта. Можно говорить и о нормальном допускаемом экологическом риске как о неминуемом изменении и воздействии на балансы в экосистеме, так как по самой своей сущности и природе, человек не может не воздействовать на природную среду, не взаимодействовать с ней. Проблема заключается в максимальном предотвращении деградации природной среды, т.е. осуществлении оптимального взаимодействия в системе общество - природная среда при известных ограничениях и принятых критериях оценки этой взаимосвязи.

В связи с этим основными задачами проведения экологической экспертизы являются:

- выявление комплекса взаимосвязанных факторов воздействия хозяйственной и иной деятельности;
- технико-экономическое обоснование (ТЭО) и расчеты (ТЭР) проектов и схем территориальной организации производства и общества в целом;
- размещение отдельных объектов;
- проектов строительства, реконструкции;
- техники и технологии;
- новых материалов, сырья, веществ, продукции и услуг;
- проекты стандартов, правовых, технических норм, нормативов;
- оценка прямых и косвенных результатов действия факторов воздейст-

вий на экосистему, на ее компоненты, балансы, взаимосвязи, на человека, условия его жизнедеятельности;

- сопоставление альтернативных вариантов предлагаемых мероприятий (в составе намечаемой хозяйственной и иной деятельности) по предотвращению или максимальному снижению негативного воздействия на экосистему, человека;
- комплексная эколого-социально-экономическая оценка вероятного воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности с учетом предлагаемых мероприятий по их предотвращению или максимальному снижению.

Экологическая экспертиза — конкретный вид деятельности экологов-экспертов.

Эколог классического направления нацелен на разработку экологической теории и «идет» от частного к общему. Эколог-эксперт использует наиболее разработанные теоретические представления об экологии и в ходе подготовки экспертного заключения «идет» от общего к частному. В этом состоит принципиальная методологическая специфика экологической экспертизы.

Цель экспертизы:

- обеспечение экологической безопасности страны и каждого региона; бережное расходование природных ресурсов;
- сохранение и восстановление нарушенных экосистем, исторических и культурных памятников, национальных особенностей и традиций;
- воспроизводство природных ресурсов;
- соблюдение международных соглашений и договоров.

Результат экологической экспертизы – оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) и экспертное заключение, в котором указываются степень экологической опасности объектов экспертизы (разработок) и вызываемые ущербы в результате действия на них различных факторов или их взаимодействий.

Главная идея ОВОС - создание инструмента для выявления предполагаемых последствий намеченной деятельности и их учет при подготовке и принятии хозяйственных решений: все неблагоприятные возможные последствия должны быть выявлены и предотвращены, т.е. вместо борьбы с преодолением последствий во главу угла ставится создание условий для их предотвращения.

Разработка ОВОС (как раздела любого проекта) и учет ее рекомендаций в проекте, а потом их соблюдение в реализации хозяйственных решений выгодно как экологически (снижает и предотвращает негативные последствия), так и экономически (дешевле предотвратить загрязнение, ухудшение качества среды и деградацию, чем потом иметь громадные затраты на их ликвидацию). Например, аварии с танкерами, перевозящими нефтепродукты. Дешевле установить сверхпрочные борта, снизить при этом скорость транспортировки соорудить, в танкере большое количество

локальных, безопасных секций, сверхсистему пожаротушения и т.д., чем потом оплачивать ущерб, многократно превышающий эти затраты и плохо устраняемый даже по истечении длительного периода.

ОВОС необходим инициатору деятельности - предпринимателю (любого масштаба, формы и направления деятельности: частное лицо, предприятие, компания), поскольку впоследствии он может столкнуться с невидимыми вначале, но трудноразрешимыми потом проблемами и последствиями, связанными со слишком большими платежами и санкциями за нарушение природопользования, с общественными конфликтами, из-за чего предпринимательская деятельность может быть даже остановлена и огромные финансовые, материальные ресурсы пропадут безвозвратно.

Государственная экологическая экспертиза в РФ проводится на двух уровнях: на федеральном уровне и уровне субъектов федерации специально уполномоченными органами в области экологической экспертизы, которые обладают исключительным правом на проведение экологической экспертизы.

В соответствии с Законом РФ «Об экологической экспертизе» обязательной государственной экологической экспертизе подлежат:

- проекты правовых актов РФ нормативного и ненормативного характера, реализация которых может привести к негативным воздействиям на окружающую природную среду;
- проекты комплексных и целевых региональных, местных и федеральных социально-экономических, научно-технических и иных федеральных программ;
- проекты генеральных схем расселения, природопользования и территориальной организации производительных сил региональных, местных и РФ;
- проекты межгосударственных инвестиционных программ, в которых участвует РФ, и федеральных инвестиционных программ;
- проекты комплексных схем охраны природы на всех административных уровнях;
- технико-экономические обоснования и проекты строительства, реконструкции и расширения, технического перевооружения, консервации и ликвидации организаций и иных объектов хозяйственной деятельности;
- материалы по созданию организаций горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, предусматривающие использование природных ресурсов;
- проекты технической документации на новые технику, технологию, материалы, вещества, сертифицируемые товары и услуги;
- проекты международных договоров.

6.8. Эколого-экономическая сущность, система платежей

Природные ресурсы (земля, ее недра, воды, атмосферный воздух, леса, растительный и животный мир) являются национальным богатством

народов, естественной основой устойчивого социально-экономического развития регионов, определяют в конечном итоге саму возможность существования человека.

В настоящее время основными формами экономических взаимоотношений между государством, гражданами, предприятиями и другими хозяйствующими субъектами в сфере владения, распоряжения и пользования природными ресурсами становятся платежи за природопользование. Они являются составной частью экономического механизма управления природопользованием.

В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей природной среды» условия пользования природными ресурсами и природоохранные требования определяются специальными разрешениями (лицензиями) на природопользование, договорами, актами или другими нормативными актами, содержащими соответствующие нормы и правила, лимиты и нормативы.

Как следует из ст. 18 указанного закона, природопользователь, имеющий лицензию (разрешение) на комплексное природопользование и положительное заключение экологической экспертизы на предполагаемую хозяйственную или иную деятельность, заключает с исполнительным органом власти края, области, автономной области, автономного округа, района, города договор на комплексное природопользование. Договор на комплексное природопользование предусматривает условия и порядок использования природных ресурсов, права и обязанности природопользователя, размеры платежей за пользование природными ресурсами, ответственность сторон и возмещение вреда, порядок разрешения споров.

Платежи за природопользование - обязательные взносы за пользование природными ресурсами и за экологические правонарушения, осуществляемые плательщиками (природопользователями) в бюджеты и внебюджетные фонды соответствующих уровней, порядок и условия, которых определяют законодательные акты и договоры на комплексное природопользование.

Плата за природопользование взимается с предприятий, объединений, организаций, учреждений, обладающих правами юридического лица, вне зависимости от форм собственности и организации хозяйственной деятельности, а также с физических лиц, использующих природные ресурсы или оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Органы государственной власти и местного самоуправления могут устанавливать льготы категориям и отдельным природопользователям вплоть до полного их освобождения от внесения платежей.

Основными целями введения платности природопользования являются:

- стимулирование рационального использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов;
- повышение качества природных ресурсов и устойчивости природных комплексов;

- аккумулирование средств в специальных фондах для финансирования природоохранных мероприятий;
- рационализация размещения производительных сил.

Система платежей за природопользование, формирующаяся в стране, включает в настоящее время:

- платежи за природные ресурсы;
- платежи за загрязнение окружающей природной среды и другие виды вредных воздействий;
- штрафные платежи (штрафы) за нарушение норм и правил рационального природопользования;
- платежи в возмещение вреда, причиненного экологическими правонарушениями.

Плата за природные ресурсы подразделяется:

- на плату за право пользования природными ресурсами;
- плату за воспроизводство и охрану природных ресурсов;
- арендную плату;
- акцизный сбор;
- сбор за выдачу лицензий на природопользование.

Общий порядок и условия взимания платежей за природопользование устанавливаются законодательством РФ. Принципы определения ставок и размеров платежей устанавливаются высшим законодательным органом РФ, а по отдельным видам природных ресурсов (например, за пользование лесным фондом) - законодательными органами республик в составе РФ, автономных областей, автономных округов, краев, областей по согласованию с районными (городскими) органами власти.

Ставки (нормативы) платы средние по региону устанавливаются на основе единой методологии органами законодательной власти и учитывают вид и степень дефицитности природных ресурсов, их кадастровую оценку, конкретную экологическую обстановку в том или ином регионе и другие факторы. Средние по региону ставки (нормативы) платы дифференцируются органами местного самоуправления с учетом реально складывающихся местных условий, состава и свойств загрязнений и других факторов.

Ответственность за правильность исчисления и своевременность внесения платежей за природные ресурсы возлагается на их плательщиков, а в случае, если плательщиками являются организации, предприятия, объединения, на их руководителей.

Учет плательщиков, контроль за правильностью исчисления и своевременностью внесения рассматриваемых платежей ведут в установленном порядке государственные налоговые инспекции. В случае невнесения платежей в установленные сроки начисляется пеня. Нарушители принятых правил и порядка несут ответственность в соответствии с природоохранным законодательством, Законом РФ «О государственной налоговой службе» и другими законами, регламентирующими платность природопользо-

вания.

В настоящее время в РФ законодательно закреплены следующие виды платы за природные ресурсы: плата за землю; плата за недра; плата за пользование лесным фондом; плата за воду, забираемую промышленными предприятиями из водохозяйственных систем; плата за пользование акваторией и участками морского дна.

Плата за право пользования природными ресурсами представляет собой форму реализации экономических отношений между собственником (владельцем) природных ресурсов и их пользователями.

Платежи за право пользования природными ресурсами поступают в бюджеты районов (городов), республик в составе РФ, краев, областей, автономных образований, на территории которых осуществляется природопользование, и в федеральный бюджет в соответствии с процентной долей, устанавливаемой законодательством.

Полученные средства направляются на социально-экономическое развитие соответствующих территорий. Часть этих платежей по решению органов представительной власти может направляться во внебюджетные экологические фонды и расходоваться при строгом контроле на восстановление и охрану природных ресурсов.

Плата за воспроизводство и охрану природных ресурсов представляет собой форму возмещения затрат (бюджетных ассигнований и затрат специализированных хозрасчетных организаций) на осуществление деятельности по воспроизводству (сохранению) природно-ресурсного потенциала.

Оценивая в целом систему платежей за природные ресурсы, необходимо отметить, что имеющиеся в ней недостатки связаны:

- с несовершенством в количественных размерах и пропорциях их сбора и расходовании, так как ресурсные платежи в составе доходов бюджета РФ не превышают 5 %, что примерно в 25 раз превышает бюджетные расходы на охрану окружающей среды, т.е. идет в основном сбор средств, а не реализуется их главная функция;
- несовершенством методики их установления по размерам, порядка сбора, распределения, контроля использования, где определяющими принципами должны стать учет их дефицитности, дифференциация по регионам с учетом их особенностей, а также принцип меры права распоряжения ими и ответственности, возможности воспроизводства природных ресурсов пользователями;
- несовершенством отношений по поводу регулирования природопользования между субъектами федерации и РФ, между хозяйствующими субъектами; на уровне местного органа самоуправления, отвечающего за рациональное природопользование, не обеспеченного для этого условиями и ресурсами;
- с тем, что существующая система платежей в основном поддерживает схему изъятия платежей и их централизацию как дополнительный источник поддержания ведомственных и федеральных управляющих структур,

т.е. работает не на охрану и воспроизводство природных ресурсов на местах, в конкретном регионе, объекте природы.

В соответствии с основной функцией внедрения платного природопользования дальнейшее совершенствование системы платежей должно быть направлено на стимулирование снижения ресурсоемкости производства, и прежде всего за счет снижения потребления первичного сырья и вовлечения в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов, так называемых отходов. Основной тенденцией здесь может стать рост размеров платы за природопользование, способный влиять на снижение платежей (налогов) на последующих стадиях в цепи производство - распределение - обмен - потребление продукции. Вторая тенденция возможна за счет совершенствования структуры производства, а значит, и структуры потребления и удовлетворения потребностей.

6.9. Финансирование мероприятий по природопользованию

В 80 - е годы прошлого столетия централизованное финансирование природоохранной деятельности проводилось на уровне 9-11 млрд. руб. за пятилетие, что было всегда недостаточно для стабилизации экологической обстановки. В бюджете России после ее суверенизации строка «Охрана окружающей среды» исчезла, в 1994 г. на эти цели из бюджета было выдано 1083,6 млрд. рублей, что составило около 1 % всех федеральных расходов. Эта доля не компенсировала нанесенный природной среде ущерб, не обеспечивала улучшения условий проживания и производства. Говоря о компенсации ущерба, нельзя забывать ту тенденцию, которая сложилась в народном хозяйстве России. Даже в самых фондо - и ресурсоемких отраслях, таких как электроэнергетика и Газпром, доля амортизации в себестоимости продукции упала с 27% в 1990 г. до 5 % в 1992 г., а на уровне 1995 г. не превышала 0,9 %, соответственно с 50 % до 10 и до 2. Отсутствие строки финансирования природоохранных мероприятий в федеральном бюджете, бюджетах субъектов федерации, городов ни в коей мере не обеспечивает воспроизводство «специфических основных фондов» общества - природных ресурсов. Утверждения об обеспеченности инвестиций в эту среду за счет ресурсов целевых внебюджетных экологических фондов несостоятельны, так как мощность этих фондов при существующей системе (уровне) платежей за природопользование не превышает 1 % бюджета, т.е. более чем в 10 раз меньше необходимого ежегодного минимума. Недостаток финансирования природоохранных мероприятий очевиден. Так, доля от расходной части бюджета на экологические мероприятия снизилась с 0,6% в 1994 г. до 0,5 % в 1996 г. и до 0,4 % в плане бюджета на 1997 год. В США и в ряде стран Европы эта доля составляет 3 %, причем на фоне лучшей экологической обстановки, достигнутой за счет значительных капитальных вложений, осуществленных ранее. Из общего объема капитальных вложений на эти цели в 1997 году выделено 12 трлн. руб., в том числе за счет федерального бюджета всего 2 трлн. рублей, рублей. Очевидно, что за счет «природной среды» все еще намечается обеспечивать финансиро-

вание мероприятий и расходы, не имеющие никакого отношения к охране природы.

Основными источниками финансирования мероприятий по природопользованию в соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей природной среды» являются:

- собственные средства предприятий-природопользователей;
- бюджеты (местные, субъектов федерации, федеральный);
- внебюджетные целевые фонды;
- кредиты банков (государственных, коммерческих и экологического банка);
- денежные средства, поступающие от инвестиционных конкурсов при приватизации предприятий, признанных экологически опасными, направляемые на улучшение их экологического состояния.

Высокие темпы инфляции, недостаток финансовых ресурсов из-за неустойчивого функционирования предприятий не позволяют предприятиям направить на природоохранные цели необходимые финансовые ресурсы. В определенной мере поддержанию активности инвестиций в сфере природопользования способствовали платежи природопользователей, зачеты вложенных предприятиями средств на осуществление природоохранных мероприятий в платежах за загрязнение, повышение внимания и ответственности местных органов самоуправления за состояние окружающей природной среды.

Совершенствование экономического механизма природопользования предполагает коренные изменения и в подходах по финансированию мероприятий по природопользованию. В условиях расширения самостоятельности регионов они должны обеспечивать основной объем финансирования и выполнения работ по охране и рациональному использованию природных ресурсов и нести за это полную ответственность, а государственные органы - обеспечить осуществление соответствующих НИР в масштабе страны, реализацию общенациональных программ и программ, связанных с выполнением международных обязательств по этой проблеме. Ответственность за обеспечение экологической безопасности производства и все затраты на эти цели несут предприятия, объединения, организации.

На финансирование крупных природоохранных мероприятий российского и межрегионального характера (зоны Чернобыльской аварии, бассейны Аральского моря, Волги, Каспия и др.) могут выделяться государственные централизованные капиталовложения. Эти средства на конкурсной основе будут выделяться территориальным органам управления или производственным предприятиям для решения конкретных задач в указанных регионах. При этом плановые задания, реализуемые предприятиями, объединениями или территориальными органами, выступающими в роли генерального подрядчика за счет централизованных капитальных вложений, будут являться государственным заказом на охрану окружающей среды.

Аналогичный порядок финансирования может быть использован в областях, краях, республиках в составе РФ.

Предлагаемые подходы к финансированию природоохранных мероприятий, таким образом, предусматривают в основном три уровня решения задач: предприятие, регион и страна в целом.

Для решения неотложных природоохранных задач, компенсации причиненного ущерба в стране создана единая система внебюджетных государственных фондов, объединяющая федеральный экологический фонд, региональный и местный.

Таблица 6.2

Схема формирования и использования целевого экологического фонда в регионе (область, край, публика в составе РФ)

Источники поступления	Направление целевого использования
платежи за право пользования природными ресурсами, объектами; платежи за выбросы загрязняющих веществ; платежи за неиспользуемые отходы; платежи предприятий за аварийные сбросы (выбросы) загрязняющих веществ; средства, взыскиваемые в возмещение ущерба, причиненного народному хозяйству нарушением природоохранного законодательства; штрафы, взыскиваемые в административном и судебном порядке с должностных лиц и отдельных граждан, виновных в нарушении законодательства об охране среды; средства от реализации конфискованных орудий охоты, технических средств, а также от продажи незаконно добытой с их помощью продукции; субсидии из бюджетов (местных, республиканских, всесоюзного, отраслевых); проценты за природоохранные кредиты; добровольные взносы предприятий, кооперативов, общественных организаций и граждан, юридических, физических лиц; доходы от издательской деятельности органов Госкомприроды, лотерей, благотворительных мероприятий и др.	финансирование, кредитование строительства, технического перевооружения, реконструкции, капремонт объектов природоохранного назначения (в регионе); создание предприятий по использованию отходов производства и потребления; создание и совершенствование автоматизированных систем мониторинга; финансирование мероприятий, предупреждающих и компенсирующих негативные социально-экономические последствия нарушения природоохранного законодательства на территории региона; расходы по организации и ведению системы экологической информации; финансирование НИОКР по рациональному природопользованию; проведение работ по оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду; проведение экологической экспертизы; экологическое воспитание, образование, пропаганда экологических знаний; финансирование экологических программ; финансовая помощь некоторым предприятиям в реализации природоохранных программ; создание и развитие сети заповедников; стимулирование рационального природопользования; и др.

Названные фонды формируются за счет средств, поступающих от

природопользователей: предприятий, учреждений, организаций, граждан, а также иностранных юридических лиц и граждан. В том числе из платежей за потребление природных ресурсов, использование объектов природы, платежей за выбросы, сбросы загрязняющих веществ и складирование отходов, из сумм, полученных по искам о возмещении вреда и штрафов за экологические правонарушения, за счет средств от реализации конфискованных орудий охоты, рыболовства, незаконно добытой с их помощью дичи, рыбы и других поступлений (табл. 6.2).

Средства, поступающие в систему внебюджетных целевых экологических фондов, зачисляются на специальные счета учреждений банков и распределяются следующим образом: 60 % на реализацию природоохранных мероприятий местного (городского, районного) значения; 30 % на мероприятия, осуществляемые на уровне субъекта федерации (область, край, республика в составе РФ); 10 % на мероприятия федерального значения. Расходование средств экологических фондов на цели, не связанные с природоохранной деятельностью, запрещается законом.

Целевые экологические фонды функционируют при органе соответствующего уровня государственного управления, имеют исполнительную дирекцию, при которой создается экспертный совет для подготовки решения о формировании проекта сметы экофонда, организации конкурсного отбора проектов, программ решения конкретных природоохранных задач за счет средств экофонда и контроля правильного, целевого расходования средств.

Совершенствование финансово-кредитного механизма природопользования связано с использованием потенциала рыночных отношений - широкого использования экономических рыночных регуляторов для поощрения предпринимательства в сфере рационального природопользования при государственном контроле и нормировании в этой специфической сфере деятельности. Главнейшие из них:

- финансовое стимулирование снижения имеющейся сегодня чрезмерно расточительной добычи и потребления природных ресурсов путем совершенствования и углубления их переработки на основе прогрессивной технологии;
- широкое использование льготных кредитов для предпринимательства в сфере природопользования;
- четкое разграничение самих источников финансирования мероприятий по рациональному природопользованию, имея в виду, прежде всего соотношение между собственными средствами природопользователей и бюджетом различных уровней;
- повышение роли бюджетов разных уровней (федерального, субъекта федерации и местного) с обязательным выделением в них отдельной строкой статьи расходов «Финансирование экологических программ и мероприятий по рациональному природопользованию» в соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей природной среды»;

- совершенствование деятельности внебюджетных экологических фондов;
- внедрение системы экологического налогообложения и страхования.

6.10. Стимулирование рационального природопользования

Активизация природоохранной деятельности предприятий (природопользователей) обусловлена развитием системы мер экономической заинтересованности и ответственности.

Зарубежные государства все шире применяют прямые и косвенные методы стимулирования предпринимателей к увеличению затрат на финансирование охраны природы путем предоставления им займов, субсидий, налоговых льгот, установления платы и штрафов за загрязнение среды и т.д. Общие расходы на природоохранные мероприятия за счет бюджетных ресурсов имеют тенденцию к росту. Так, в середине 80-х годов они составили 0,5 — 2,5 % валового национального продукта (ВНП) этих стран (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Налогово-бюджетные рычаги стимулирования борьбы с загрязнением воздуха в зарубежных странах

Страна	Налогово-бюджетные средства экологического регулирования
Бельгия	Предоставление субсидий, налоговых льгот, беспроцентных займов
Канада	Предоставление долгосрочных займов (до 10 лет); налоговые льготы на расходы, связанные с научными исследованиями в области охраны воздушной среды; освобождение от 12 %-ного налога на стоимость приобретаемого очистного оборудования
Франция	Предоставление субсидий для покрытия 50% затрат на природоохранное оборудование и сооружения; предоставление беспроцентных и низкопроцентных займов на его приобретение
ФРГ	Предоставление субсидий для установления оборудования по снижению загрязнения воздуха, гарантированных займов и налоговых льгот
США	Предоставление налоговых льгот на расходы, связанные с контролем за загрязнением воздуха
Швеция	Предоставление субсидий на 5-летний срок для покрытия до 25 % инвестиционных расходов на очистное оборудование
Япония	Предоставление займов, налоговых льгот, разрешение ускоренной амортизации очистного оборудования
Финляндия	Предоставление долгосрочных кредитов (сроком 35-50 лет) с низкими годовыми ставками платежа, покрывающих до 70 % сметной стоимости проекта; налоговые льготы

Опыт зарубежных стран с развитыми рыночными отношениями подтверждает необходимость усиления экономических методов стимулирования рационального природопользования. Среди многих экономических мер наиболее распространенными являются:

- субсидии для внедрения малоотходной и ресурсосберегающей технологий;
- прямые инвестиционные субсидии, покрывающие значительную часть затрат на разработку прогрессивных, экологизированных технологий;
- ссуды на приобретение и монтаж оборудования по стабилизации выбросов, снижению загрязнения и восстановлению качества среды;
- система налоговых льгот, в том числе снижение ставок налога, снижение базы налогообложения, ускоренная амортизация основных фондов.

Очевидно, что есть особенности применения налоговых льгот и субсидий, прежде всего связанные с состоянием экономики. Первые наиболее приемлемы, в то время как субсидии практикуются обычно при стабильной экономике. Внедрение экономических принципов в процесс управления природопользованием предполагает разработку и внедрение законодательно-организационных принципов стимулирования рационального природопользования.

Формирование экономического механизма стимулирования управлением охраной окружающей среды должно осуществляться по следующим направлениям:

- установление жестких экологических ограничений по территориям и экосистемам, в рамках которых должно осуществляться развитие и размещение производительных сил, а также экономической ответственности природопользователей за нарушение экологических ограничений;
- развитие системы платежей за природопользование и учет экологических факторов при налогообложении;
- упорядочение источников финансирования мероприятий по охране, воспроизводству и сбережению природных ресурсов.

В качестве экологических ограничений устанавливаются:

- лимиты допустимых выбросов (сбросов, размещения) загрязняющих веществ в окружающую среду предприятиями и в целом по хозяйству территории;
- лимиты допустимого использования (изъятия) природных ресурсов по природным объектам, экосистемам и территориям.

Оба вида экологических ограничений устанавливаются в виде ступенчатых (ужесточающихся во времени) лимитов с доведением их в конечном счете до «нормативного» уровня.

Объемы выбросов загрязняющих веществ, оказывающих влияние на глобальные изменения в биосфере, а также на загрязнение окружающей среды в результате трансграничного переноса, устанавливаются на договорной основе с республиками, в республиках - с областями, в области - с городами – в городах с предприятиями.

Система экологических ограничений будет способствовать структурной перестройке народного хозяйства на основе ресурсосбережения, переходу промышленности на малоотходные технологические процессы и повышению эффективности общественного производства.

Стимулирование, его методы и принципы будут действенны и перспективны только в случае совпадения их с принципами рационального природопользования, т.е. при создании условий охраны, воспроизводства природных ресурсов и объектов в процессе самого их вовлечения в хозяйственный оборот, использования для удовлетворения потребностей. Это можно считать стратегическим направлением. В то же время при достигнутой технологии природопользования с образованием значительных объемов выбросов и отходов необходимы тактические задачи стимулирования, связанные с имеющей место специфической деятельностью - охраной природной среды: стимулирование достижений и снижение установленных норм потребления природных ресурсов; стимулирование снижения и ликвидации выбросов, сбросов, объемов складирования, хранения твердых, жидких отходов в специальных хранилищах, отвалах, полигонах.

6.11. Экологический менеджмент

Внедрение рыночных отношений в нашу экономику вызвало живой интерес к познанию форм и методов производственно-хозяйственной и коммерческой деятельности, используемых в мировых экологических процессах. Особое место среди них занимают принципы и методы менеджмента. В последнее время становится актуальным использование концепции менеджмента для решения природоохранных проблем предприятия. Для этого требуется обеспечение учета экологических аспектов в деятельности самих предприятий на всех этапах их развития. Реализация такой концепции будет находиться в зависимости от того, насколько данное предприятие заинтересовано в решении природоохранных проблем, какими способами оно намерено обеспечивать предотвращение загрязнения окружающей среды.

Существует несколько определений экологического менеджмента, которые отражают суть этого понятия.

Экологический менеджмент - это система управленческих рычагов, обеспечивающая совокупный эффект скоординированной деятельности многих людей в области защиты окружающей среды.

Экологический менеджмент - это анализ, планирование, претворение в жизнь и контроль за проведением природоохранных мероприятий с целью достижения определенных задач предприятия, таких как получение прибыли и экологически безопасное развитие.

Экологический менеджмент - это искусство принимать эффективные управленческие решения в целях улучшения природоохранной деятельности предприятий и организаций в конкретной рыночной ситуации.

В последние годы значительные перемены в системе управления трансформировали бизнес. Даже на самом благополучном предприятии

всегда есть опасность того, что функционирование внутренней среды предприятия окажется рассогласованным с условиями окружающей и внешней природной среды. Это неизбежно обострит противоречия и столь же неизбежно приведет к кризису как экологическому, так и экономическому.

Экологический менеджмент имеет свою специфику. Для повышения уровня обоснованности экологических решений на предприятиях вводятся специальные природоохранные или экологические паспорта. Экологический паспорт позволяет детально проанализировать сложившуюся экологическую ситуацию, определить первоочередность решаемых задач и их влияние на состояние окружающей среды.

При формировании экологического менеджмента необходимо учитывать рыночные механизмы регулирования природопользованием (такие, как торговля правами на выброс загрязняющих веществ, плата за загрязнение, введение налога за складируемые в малых количествах опасные отходы, устранение рыночных барьеров, стимулирующих нерациональное природопользование и т.д.), и не только учитывать, но и активно внедрять, так как рыночный подход позволяет достигнуть более высокого уровня защиты окружающей среды при тех же удельных издержках на борьбу с загрязнением, стимулирует инициативу промышленных предприятий в отношении новых методов защиты окружающей среды.

Рекомендуемая литература.

1. Бигон М., Харпер Д., Таунсенд К. Экология: Особи, популяции и сообщества: В 2 т. М.: Мир, 1989. Т. 1 - 2.
2. Бурдин К. С. Основы биологического мониторинга. М.: Изд-во МГУ, 1985. 158 с.
3. Вернадский В. И. Биосфера. М.: Мысль, 1967. 376 с.
4. Жигальский О. А., Белан О. Р. Основы экологии: Курс лекций. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2001. Ч. 1. 110 с.
5. Иванова Н. И., Фадина И. М. Инженерная экология и экологический менеджмент. М.: Логос, 2002. 528 с.
6. Миланова Е. В., Рябчиков А. М. Использование природных ресурсов и охрана природы. М.: Высш. шк., 1986. 279. с
7. Одум Ю. Экология: В 2 т. М.: Мир, 1986. Т. 1 - 2.
8. Равелль П., Равелль Ч. Среда нашего обитания: В 4 т. М.: Мир, 1994. Т. 1-4.
9. Реймерс Н. Ф. Экология: Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия молодая, 1994. 367 с.
10. Стадницкий Г. В., Родионов А. И. Экология. М.: Высш. шк., 1988. 272 с.
11. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. М.: Пангея, 1993. 256.
12. Струкова Л. В. Основы общей экологии: (Текст лекций). Екатеринбург: УГТУ, 1994. 44 с.
13. Сытник К. М. Брайон А. В. Гордецкий А. В. Биосфера, экология, охрана природы. Киев: Наук. думка, 1987. 523 с.
14. Харлампович Г. Д., Березюк В. Г., Липунов И. Н., и др. Охрана и рациональное использование окружающей среды: Учеб. пособие для вузов. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 1993. 183 с.
15. Ясников Г. П., Островская А. В., Кутявин З. Н. и др. Основы экологии: Учеб. пособие. Екатеринбург: УГТУ, 1996. 158 с.

Учебное издание

Олег Антонович Жигальский
Ольга Ринатовна Белан

Основы экологии

Редактор *И.Г. Южакова*
Корректор *М.Ю. Петров*
Компьютерная верстка *О.А. Жигальского*

ИД № 06263 от 12.11.2001 г.

Подписано в печать 22.10.2004 Формат 60×84 1/16
Бумага писчая Печать плоская Усл. печ. л. 11,27
Уч.- изд. л. 14,3 Тираж 150 Заказ 363 Цена «С»

Редакционно – издательский отдел ГОУ ВПО УГТУ – УПИ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Ризография НИЧ ГОУ ВПО УГТУ-УПИ
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19