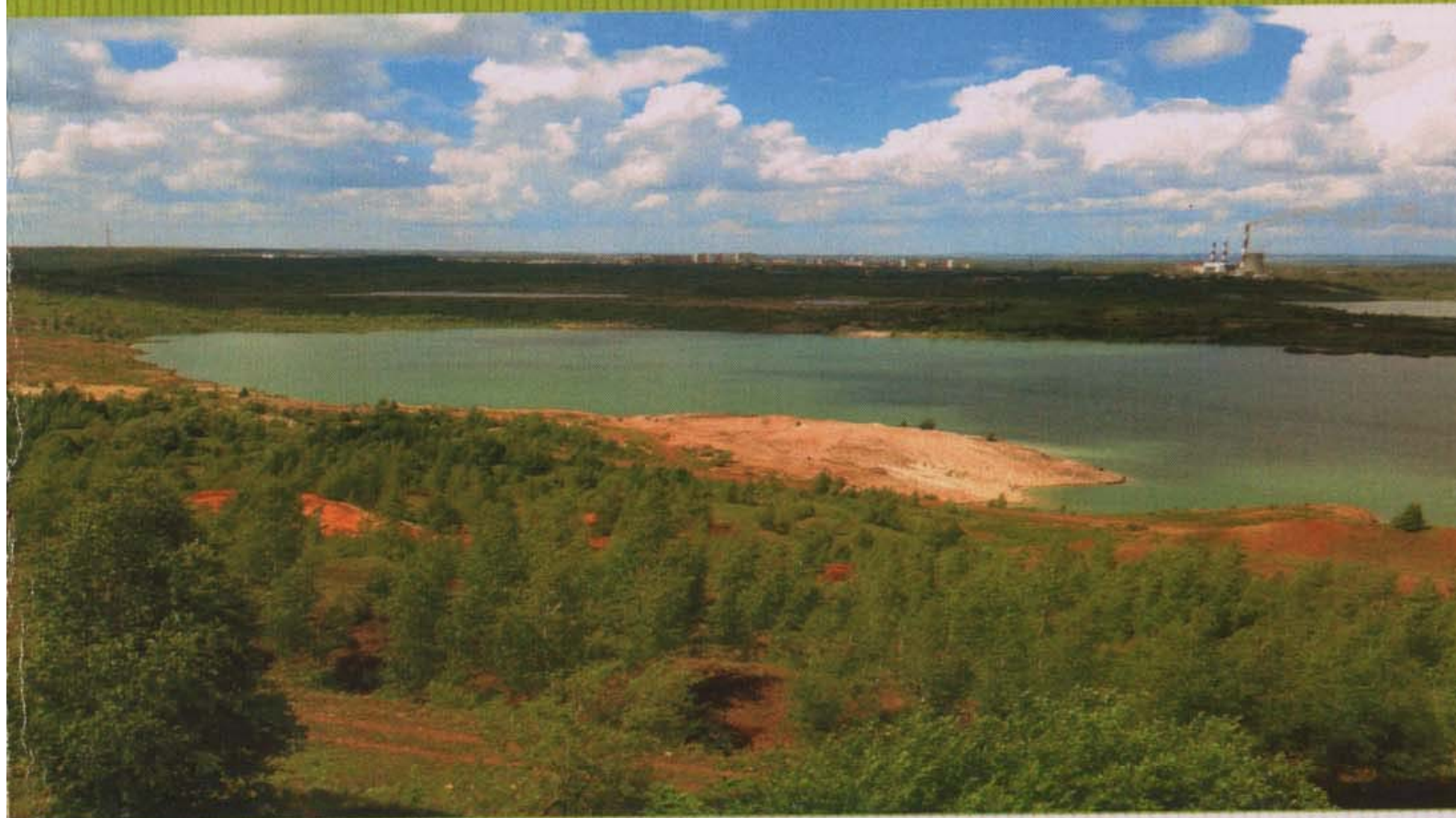




ГЕОЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«Башкирский государственный педагогический
университет им. М.Акумлы»
Российская академия наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии Уфимского научного центра РАН
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Уфимский Институт биологии РАН

С.Г.Ковалев, А.Ю.Кулагин, О.В.Тагирова, Г.А.Зайцев

ГЕОЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Уфа 2015

УДК 5574.58(075.53)

ББК 20.18Я73

Г 36

Печатается по решению функционально-научного совета Башкирского государственного педагогического университета им.М.Акумлы, Ученого совета ФГБУН «Институт геологии Уфимского научного центра РАН», Ученого совета ФГБУН «Уфимский Институт биологии РАН».

Геоэкология и природопользование [текст]: учеб. Пособие / Ковалев С.Г., Кулагин А.Ю., Тагирова О.В., Зайцев Г.А. – Уфа: Издательство БГПУ, 2015. – 170 с.

Рецензенты:

А.М. Гареев – доктор географических наук, профессор

Д.Н. Салихов – доктор геолого-минералогических наук

Ю.А. Янбаев – доктор биологических наук, профессор

В учебном пособии геоэкология представлена как наука, изучающая взаимодействие географических, биологических (экологических) и социально-производственных систем. Различные аспекты природопользования рассматриваются на стыке геологии, геохимии, географии, биологии и экологии. Геоэкология и природопользование - интегральная наука, предметом которой выступают глобальные и региональные процессы и явления, вопросы ретроспективных оценок, характеристик современного состояния и прогноза состояния окружающей среды. К числу ключевых относится разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, санация и рекультивация земель, ресурсосбережение и утилизация отходов, различные аспекты сохранения биоразнообразия. При разработке учебного пособия использованы результаты научно-исследовательских работ авторов.

Учебное пособие предназначено для студентов экологических, географических, биологических и экономических специальностей и направлений подготовки дипломированных бакалавров и магистров высших учебных заведений 022000 «Экология и природопользование», 020400 «Биология», 020700 «Геология», 021000 «География», 100400 «Туризм», 120700 «Землеустройство и кадастры», 280000 «Безопасность жизнедеятельности, природообустройство и защита окружающей среды», согласно ФГОС Высшего Профессионального образования. Кроме того, оно может быть использовано специалистами соответствующего профиля в качестве справочного пособия.

ISBN 978-5-87978-902-7

© С.Г. Ковалев, А.Ю. Кулагин, О.В. Тагирова, Г.А. Зайцев, 2015.

© Издательство БГПУ, 2015.

© Институт геологии Уфимского НЦ РАН, 2015.

© Уфимский Институт биологии РАН, 2015.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ЧАСТЬ I.....	10
ГЕОСФЕРЫ: РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ .	10
Глава 1 Краткая история развития геоэкологических взглядов и положение России в экологическом движении	10
Глава 2 Атмосфера.....	28
2.1. Основные особенности атмосферы и климата Земли. Влияние деятельности человека на атмосферу и климат.....	28
2.2. Антропогенное изменение климата и его последствия. Парниковый эффект	29
2.3. Асидификация экосферы и кислотные осадки	32
2.4. Стратегии, связанные с проблемой изменения климата.....	37
2.5. Международные конвенции по атмосфере и климату и интересы России.....	38
Глава 3 Гидросфера	41
3.1. Основные особенности гидросферы.....	41
3.2. Воды суши и деятельность человека. Основные функции вод суши.....	44
3.3. Геоэкологические аспекты водного хозяйства. Водные ресурсы и водообеспеченность	46
3.4. Управление водопотреблением и водохозяйственный баланс	49
3.5. Качество вод суши.....	52
3.6. Мировой океан. Влияние деятельности человека. Основные геоэкологические особенности океанов и морей.....	61
3.7. Деятельность человека, влияющая на состояние океанов и морей	63
Глава 4 Педосфера и земельные ресурсы.....	69
4.1. Основные функции сферы почв (педосферы)	69
4.2. Антропогенная деградация почв.....	70
4.3. Геоэкологические проблемы земледелия.....	72
4.4. Устойчивость сельского хозяйства	80
Глава 5 Литосфера	82
5.1. Строение Земли и литосфера.....	82
5.2. Большой геохимический круговорот вещества	84
5.3. Антропогенное воздействие на экзогенные процессы	87
Глава 6 Биосфера и ландшафты Земли. Влияние деятельности человека	90
6.1. Основные особенности биосферы и ее роль в экосфере	90
6.2. Современные ландшафты мира	94
6.3. Проблемы сохранения биологического разнообразия Земли	100
Глава 7 Природно-техногенные системы.....	105
7.1. Урбанизация.....	106
7.2. Энергетика.....	110
7.3. Промышленность.....	113
7.4. Транспорт	115
7.5. Сельское хозяйство	117
Глава 8 Стратегия выживания человечества	120

ЧАСТЬ II	124
МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	124
Глава 9 Экологический мониторинг.....	124
9.1. Структурно-логическая схема организации мониторинга	125
9.2. Объекты экологического мониторинга: природная и техногенная среды и сфера взаимодействия	127
9.3. Формирование сети режимных наблюдений	128
9.4. Виды и методы наблюдения и контроля	129
Глава 10 Геоинформационные системы (ГИС)	131
10.1. Понятие о геоинформационных системах	131
10.2. Обобщенные функции ГИС-систем и их классификация	132
10.3. Источники данных, их типы и аппаратные (технические) средства ГИС	133
10.4. Отображение объектов реального мира в ГИС	135
10.5. Базы данных и управление ими	138
10.6. Задачи пространственного анализа.....	141
10.7. Электронные карты и атласы	147
10.8. Этапы и правила проектирования ГИС.....	148
Глава 11 Оценка воздействия на окружающую среду, экологическая экспертиза, экологический аудит и экологический риск	150
11.1. Оценка воздействия на окружающую среду.....	150
11.2. Экологическая экспертиза	151
11.3. Экологический аудит	155
11.4. Экологический риск	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	167
ЛИТЕРАТУРА.....	169

ВВЕДЕНИЕ

Зарождение геоэкологии связывают с именем немецкого географа Карла Тролля (1899 – 1975), который ещё в 30-х годах XX века понимал под ней одну из ветвей естествознания, объединяющую экологические и географические исследования в изучении экосистем. По его мнению, термины «геоэкология» и «ландшафтная экология» являются синонимами. В России широкое использование термина «геоэкология» началось с 1970-х годов, после упоминания его известным советским географом В.Б. Сочавой (1905 – 1978). Как отдельная наука окончательно сложилась в начале 90-х годов XX века.

Однако, как это ни парадоксально, чёткого и общепринятого определения этот термин до сих пор не получил, предмет и задачи геоэкологии также формулируются по-разному, зачастую весьма разнородно. Практически, в самом общем случае, они сводятся в основном к изучению негативных антропогенных воздействий на природную среду.

В рамках широкого понятия «геоэкология» находятся многие, весьма разнообразные научные направления и практические проблемы. В связи с тем, что геоэкология охватывает многообразные аспекты взаимодействия общества и природы, наблюдается различная трактовка её предмета, объекта и содержания, не определён круг вопросов геоэкологических исследований, не существует общепризнанной методологии и терминологической базы.

Геоэкология появилась, когда деятельность человека стала существенным фактором преобразования Земли. Она основывается на глобальном, общемировом подходе, но на этой основе не меньшее значение имеют проблемы регионального и локального характера. По мнению Г.Н. Голубева (1999) *геоэкология – это междисциплинарное научное направление, изучающее экосферу как взаимосвязанную систему геосфер в процессе ее интеграции с обществом*. Экосфера представляет собой всемирную область интеграции геосфер и общества. Экосфера есть объект геоэкологии. Иногда экосферу Земли представляют в виде трех основных компонентов: геосферы, техносферы и социосферы, отражающих, соответственно, природную, техногенную и общественную части единой системы Земля.

Можно, по меньшей мере, выделить два крупных направления в понимании термина «геоэкология», предмета, целей и задач этой науки:

1. Геоэкология рассматривается как экология геологической среды, при этом термины «геоэкология» и «экологическая геология» полагаются синонимами. При таком подходе геоэкология изучает закономерные связи (прямые и обратные) геологической среды с другими составляющими природной среды – атмосферой, гидросферой, биосферой, оценивает влияние хозяйственной деятельности человека во всех её многообразных проявлениях и рассматривается как наука на стыке геологии, геохимии, биологии и экологии.

2. Геоэкология трактуется как наука, изучающая взаимодействие географических, биологических (экологических) и социально-производственных систем. В этом случае геоэкология изучает экологические аспекты природопользования, вопросы взаимоотношений человека и природы, для неё характерно активное использование системной и синергетической парадигм, эволюционного подхода.

При этом геоэкология рассматривается как наука на стыке географии и экологии.

Существует и ряд других воззрений на геоэкологию. Так, можно выделить различные трактовки в зависимости от того, какую науку (географию или экологию) автор принимает за основу геоэкологии. Ряд авторов рассматривает геоэкологию как экологизированную географию, изучающую приспособление хозяйства к вмещающему ландшафту. Другие – частью экологии, в которой изучаются последствия взаимодействия биотических и абиотических компонентов.

Многие учёные считают геоэкологию результатом современного развития и синтеза целого ряда наук: географических, геологических, почвенных и других. Эти авторы выступают за широкое понимание геоэкологии, как интегральной науки экологической направленности, изучающей закономерности функционирования антропогенно измененных экосистем высокого уровня организации.

Областями исследований для геоэкологии как интегральной науки являются:

- Глобальные геосферные жизнеобеспечивающие циклы – изучение роли геосферных оболочек Земли в глобальных циклах переноса углерода, азота и воды;
- Глобальная геодинамика и ее влияние на состав, состояние и эволюцию биосферы. Экологические кризисы в истории Земли. Исторические реконструкции и прогноз современных изменений природы и климата;
- Влияние геосферных оболочек на изменение климата и экологическое состояние, дегазацию, геофизические и геохимические поля, геоактивные зоны Земли;
- Глобальный и региональные экологические кризисы;
- Междисциплинарные аспекты стратегии выживания человечества и разработка научных основ регулирования качеством состояния окружающей среды;
- Природная среда и ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной, в том числе горнодобывающей, деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод, возникновение и развитие опасных техноприродных процессов, наведенные физические поля, деградация криолитозоны, сокращение ресурсов подземных вод;
- Характеристика, оценка состояния и управление современными ландшафтами;
- Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, санация и рекультивация земель, ресурсосбережение и утилизация отходов;
- Геоэкологические аспекты биоразнообразия;
- Геоэкологические аспекты природно-технических систем. Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности;
- Динамика, механизм, факторы и закономерности развития опасных природных и техноприродных процессов, прогноз их развития, оценка опасности и риска, управление риском, превентивные мероприятия по снижению последствий катастрофических процессов, инженерная защита территорий, зданий и сооружений.
- Геоэкологическое обоснование безопасного размещения, хранения и захоро-

нения токсичных, радиоактивных и других отходов;

- Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов;
- Геоэкологическая оценка территорий: современные методы и методики геоэкологического картирования, моделирования, геоинформационные системы и технологии, базы данных; разработка научных основ государственной экологической экспертизы и контроля;
- Теория, методы, технологии и технические (в том числе строительные) средства оценки состояния, защиты, восстановления и управления природно-техническими системами, включая агросистемы;
- Специальные экологически и технически безопасные конструкции, сооружения, технологии строительства и режимы эксплуатации объектов и систем в области природопользования и охраны окружающей среды; экологически безопасное градостроительство;
- Технические средства, технологии и сооружения для прогноза изменений окружающей среды и ее защиты, для локализации и ликвидации негативных природных и техногенных воздействий на окружающую среду;
- Технические средства контроля и мониторинга состояния окружающей среды;
- Технические методы и средства безопасной утилизации, хранения и захоронения промышленных, токсичных и радиоактивных отходов;
- Теория и методы оценки экологической безопасности существующих и создаваемых технологий, конструкций и сооружений, используемых в процессе природопользования;
- Методы и технические средства оперативного обнаружения, анализа причин и прогноза последствий чрезвычайных ситуаций, угрожающих экологической безопасности;
- Разработка и совершенствование государственного нормирования и стандартов в природопользовании, в оценке состояния окружающей среды;
- Разработка научно-методических основ и принципов экологического образования.

При разработке учебного пособия использованы результаты научно-исследовательских работ по следующим грантам и программам:

Грант РФФИ № 05-04-97906. Конкурс Р2005 АГИДЕЛЬ-а. Проект «Устойчивость и биологическая продуктивность лесных экосистем техногенных ландшафтов промышленных центров в Республике Башкортостан» (2005-2007 гг.);

Программа Отделения биологических наук РАН. Тема: «Лесообразующие виды Предуралья, Южного Урала и Зауралья: особенности онтогенеза и адаптации к экстремальным лесорастительным условиям» № гос.регистрации 01.2.006. 07438 (2006-2008 гг.);

Грант РФФИ №08-05-97000 р_поволжье_а «Изотопно-термобаро-геохимические методы поиска и разведки месторождений золота Республики Башкортостан»;

Тематический план Министерства образования и науки РФ. Приказ Феде-

рального агентства по образованию № 214 от 20.03.2008 г. «О распределении средств федерального бюджета по мероприятию 1 Проведения фундаментальных исследований в рамках тематических планов» (подраздел 01.11 главы 073). Тема: «Ландшафтно-экологическое обоснование лесной рекультивации отвалов горно-добывающей промышленности» (2008-2012 гг.);

Грант РФФИ № 08-04-97017 р_поволжье_а. «Восстановление и формирование лесных экосистем в критических ландшафтах Башкортостана» (2008-2010 гг.);

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие». Подпрограмма – Биоразнообразие: инвентаризация, функции, сохранение. Проект: «Лесная рекультивация отвалов горнодобывающей промышленности: восстановление биологического разнообразия и продуктивности» (2010-2011 гг.);

Тематический план Министерства образования и науки РФ. Приказ Федерального агентства по образованию № 214 от 20.03.2008 г. «О распределении средств федерального бюджета по мероприятию 1 Проведения фундаментальных исследований в рамках тематических планов» (подраздел 01.11 главы 073). НИР № 4.09. Тема: «Адаптация древесных растений и экологическое обоснование лесовосстановления нарушенных ландшафтов» (2009-2011 гг.);

Федеральная Целевая Программа Министерства образования и науки РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Тема: «Докембрий западного склона Южного Урала (геология, магматизм, металлогения)» (2010-2012 гг.);

Грант РФФИ № 11-05-12002 офи-м-2011 «Минералого-геохимическая характеристика и генетическая природа комплексного (Au-Ag-U-Th-REE) оруденения в терригенных породах Башкирского мегантиклинория» (2011 г.);

Тематический план Министерства образования и науки РФ. Тема: «Ландшафтно-экологическое обоснование лесной рекультивации отвалов горнодобывающей промышленности» (2011);

Министерство образования и науки РФ. Задание «Методическое и информационное обеспечение экологического образования и воспитания при организации и проведении Всероссийской олимпиады школьников по экологии» (2011);

Академия наук Республики Башкортостан. Договор 40/30-П: «Состояние водоохранно-защитных зон водохранилищ Башкирского Предуралья и Зауралья и обоснование мероприятий по формированию защитных лесных насаждений» (2011-2013 гг.);

Грант РФФИ № 11-04-97025 р_поволжье_а «Состояние водоохранно-защитных зон водохранилищ Башкирского Предуралья и Зауралья и обоснование мероприятий по формированию защитных лесных насаждений» (2011-2013 гг.);

Грант «Адаптивный потенциал и устойчивость древесных растений в техногенных условиях» (Аналитическая ведомственная целевая программа Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы», регистрационный номер: 2.1.1/11330) (2011 г.).

Федеральная Целевая Программа Министерства образования и науки РФ

«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Соглашение № 8312. Тема: «Дайково-силловые рои Южного Урала: геология, время проявления, рудогенерирующий потенциал и геодинамические обстановки формирования» (2012-2013 гг.);

Федеральная Целевая Программа Министерства образования и науки РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Соглашение № 8358. Тема: «Нетрадиционные типы благороднометального оруденения западного склона Южного Урала: геология, минералогия, условия формирования и ресурсный потенциал» (2012-2013 гг.);

Грант Министерства образования и науки РФ «Эколого-биологические и молекулярно-генетические аспекты состояния и функционирования живых систем в крупных промышленных центрах Башкортостана» (регистрационный номер 5.4747.2011). (2012-2013 гг.);

Грант Министерства образования и науки РФ «Микоризообразование хвойных на отвалах горнодобывающей промышленности» (регистрационный номер 4.3458.2011). (2012-2013 гг.).

Грант Программы фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России: Динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий». Проект «Лесные насаждения промышленных центров Предуралья: ретроспективная оценка, современное состояние и прогноз динамики изменений в условиях антропогенных воздействий» (2012-2014 гг.);

Программа УрО РАН. № 12-с-5-1002. Тема: «Фоновые и аномальные концентрации элементов-примесей в осадочных последовательностях рифея Башкирского мегантиклинория и их значение для металлогенического анализа» (2012 г.);

Программа Отделения биологических наук РАН. Онтогенетические аспекты адаптации лесообразующих древесных пород при естественном возобновлении в условиях Южно-уральского региона № госрегистрации 01201361801. (2013-2014 гг.).

Грант РФФИ № 13-04-97518 р_центр_а «Адаптации по защите онтогенеза древесных растений в контрастных лесорастительных условиях» (2013-2015 гг.).

Авторы выражают глубокую благодарность коллегам, работающим в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумуллы», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт геологии Уфимского научного центра РАН», Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Уфимский Институт биологии РАН».

Авторы благодарны рецензентам – доктору географических наук профессору А.М. Гарееву, доктору геолого-минералогических наук Д.Н. Салихову и доктору биологических наук профессору Ю.А. Янбаеву за критическую оценку, советы и ценные замечания, высказанные при подготовке данной работы.

ЧАСТЬ I

ГЕОСФЕРЫ: РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Глава 1

Краткая история развития геоэкологических взглядов и положение России в экологическом движении

Американский географ *Джордж Перкинс Марш* в XIX веке сыграл большую роль, в особенности в англоязычном мире, в исследовании деятельности человека в его воздействии на природу. В 1864 г. он опубликовал монографию «Человек и природа». Она была также издана на русском языке в Петербурге в виде тома в 586 страниц под названием «Человек и природа, или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы». Последнее, посмертное издание вышло в США в 1885 г. под названием «Земля, изменяемая действиями человека». Д.П. Марш был основателем существующей до сего времени школы географов, фактически ориентированной на вопросы геоэкологии, в университете Кларка в штате Массачусетс (США).

Похожую роль во франкоязычном мире сыграл французский географ *Элизе Реклю*, выпустивший в 1876 г. многотомную работу «Земля и люди». Она была также переведена на русский язык и сыграла заметную роль в российском образовании последней четверти XIX века.

Ключевой фигурой в науках о Земле XX века стал *Владимир Иванович Вернадский* (1863-1945). Его труды, касающиеся, в том числе и современных вопросов геоэкологии, не потеряли своего значения и до сих пор. В.И. Вернадский внес фундаментальный вклад в такие вопросы как учение о глобальных биогеохимических циклах, о роли живого вещества в функционировании Земли как системы, о деятельности человека как «геологической» силы (то есть уже сравнимой с другими основными природными факторами). Он увидел объективные тенденции в изменениях приоритетов в науке и поэтому писал, что «*Биосфера является основной областью научного знания*». В.И. Вернадским развито и, благодаря ему, стало широко известно предложенное Э. Леруа понятие «ноосфера», или сфера разума. Ноосфера есть состояние взаимоотношений между человеком и природой, близкое к идеальному. Это понятие спорное, оно признается не всеми, но его введение катализировало прогресс развития геоэкологии.

Географический детерминизм – концепция, согласно которой климат и другие природные условия определяют специфику экономической, социальной и политической жизни государств, формируют национальный дух и национальный характер.

Наиболее последовательно концепция географического детерминизма разработана в книге *Шарля Луи Монтескье* «Дух законов». Монтескье заимствовал физиологические основы своего учения из вышедшей в 1733 г. работы *Джона Арбетнота* о влиянии воздуха, но широкое применение этого учения к жизни государства и общества было заслугой Монтескье. Было достижением,

основываясь на возросших географических знаниях своего времени, вновь обратиться к систематическому решению вопроса, который, опираясь на попытки античных авторов, ставили и на который довольно примитивно отвечали еще Боден и другие. Но интерес Монтескье был прикован, прежде всего, к непосредственным, часто очень грубо понимавшимся отдельным связям между климатом, народным характером и законодательством. Философ объяснял манеру англичан к самоубийству климатом (в этом ему предшествовал аббат Дюбо); полагал, что открыл в климатических различиях между Европой и Азией *«великую причину слабости Азии и силы Европы, свободы Европы и рабства Азии»*. Раздвоение между природой как разумом и природой как детерминирующей принудительной силой может считаться главной темой его мышления. Он не урегулировал этот внутренний конфликт и не смог последовательно и органично провести учение о климате. *«Климат, – возразил ему Вольтер в статье «Климат» – обладает определенной силой, но сила правительств во стократ больше, а религия, объединенная с правительством, еще сильнее»*.

И.Г. Гердер считал, что климат «не принуждает, а благоприятствует». Под климатом он понимал совокупность земных сил и влияний, на которую воздействует также флора и фауна, которая во взаимосвязи служит всем живым существам, но может быть изменена и человеком с помощью используемых им средств. Используя всю проделанную на протяжении столетия работу в области естествознания и географии, Гердер усовершенствовал учение о влиянии климата и геофизических условий вообще на человека. Он сделал его гибким, обращая внимание не только на сохраняющиеся отношения между определенной географической средой и определенными народами, но открыв и соотношения между поверхностью Земли и движениями и изменениями народов. Труд Гердера ввел новое плодотворное понимание в симбиоз всех живых существ и вызвал тем самым исследования, которые, продолжаясь до наших дней, открывали все новые скрытые связи. Климат воздействует на человека, но и человек воздействует на климат, преобразуя его, и воздействие климата сразу же неразрывно соединяется со своеобразным внутренним противодействием данного живого существа. *«Какое бы воздействие ни оказывал климат, у каждого человека, каждого животного, каждого растения свой собственный климат, ибо все они воспринимают по-своему и органически перерабатывают все внешние воздействия»*. Это витализм на метафизическо-неоплатонической основе, который, индивидуализируя, разделяет и вновь связывает все индивидуальное.

Энвйронментализм или инвйронментализм (англ. *environmentalism* от *environment* – окружающая среда, природа) – это теория управления социально-экономическим развитием и окружающей средой, считающая человечество частью биосферы и утверждающая необходимость преобразования природы в интересах человека, отрасль науки, сформировавшаяся в середине XIX века, когда под этим словом понимался ряд новых идей о том, что люди развиваются в значительной мере под влиянием окружающей среды. Кроме того, это социальное экологическое движение, распространившееся в XX веке в европейских странах, направленное на усиление мер по защите окружающей среды.

К числу проблем, на которые обращают внимание энвйронменталисты,

относятся:

- уменьшение биоразнообразия;
- глобальное потепление;
- озоновые дыры;
- кислотные дожди;
- захоронение радиоактивных отходов;
- возможность ядерной зимы;
- ущемление прав животных.

Причиной вышеперечисленных проблем энвайронменталисты считают деятельность человека и стремятся уменьшить потребление прямо или косвенно вредных для окружающей среды продуктов в быту.

В большинстве развитых стран мира существуют *партии «зелёных»*, что показывает боязнь людей за будущее своих детей и состояние Земли как общей для всего человечества планеты, за которую оно несёт ответственность. В своей деятельности они акцентируют внимание на переходе производства на безотходные технологии, внедрении альтернативной энергетики и транспорта с рекуперативным торможением (например, электромобили), переработке отходов, очистке сточных вод, орошении пустынь и др.

Оппоненты энвайронменталистов утверждают, что многие экологические опасности ими преувеличены. В частности, преувеличено влияние человека на природные процессы (антропоцентризм). Кроме того, некоторые экологические движения используют средства не для решения экологических проблем, а для собственного обогащения, они рассматривают энвайронментализм как предвзятое, отчасти религиозное (в широком понимании) убеждение.

«Принято считать, что сегодня мы живем в светском обществе, где многие – лучшие, самые просвещенные люди – вовсе не религиозны. Но мне кажется, что религию невозможно изгнать из души человечества. Если подавить ее в одной форме, она возрождается в другой. Можно не верить в бога, но все же необходима вера в то, что придает жизни смысл и формирует мироощущение. Такая вера тоже носит религиозный характер.

Сегодня самая влиятельная религия Запада – энвайронментализм, религия городских атеистов. Почему я называю его религией? Да вы только взгляните на их убеждения. Если присмотреться, то станет ясно, что энвайронментализм есть замечательное переложение традиционных иудео-христианских верований и мифов применительно к XXI веку» (Майкл Крайтон).

Географический POSSИБИЛИЗМ (от лат. *possibilis* – возможный), направление в географии, рассматривающее географическую среду как ограничивающее и изменяющее деятельность людей начало. Вместе с тем, большое значение при выборе того или иного пути развития признаётся за историческими условиями. В результате выбора складываются определённые направления хозяйственной деятельности людей, создаются те или иные культурные ландшафты и т.п. Ошибочность географического POSSИБИЛИЗМА – в непонимании значения способа производства, особенно в недооценке роли производственных отношений. При этом географическая обстановка, в которой производится «выбор», предстаёт как нечто заранее данное и неизменное; это сближает географический

поссибилизм, при всей формальной противоположности исходных теоретических позиций, с тем же детерминизмом, от которого он стремился уйти. Географический поссибилизм возник в начале XX века как реакция на зашедшие в тупик идеи *географического детерминизма*. Главная роль в развитии географического поссибилизма принадлежит французской школе «географии человека». Идеи географического поссибилизма развивали также в применении к экономической географии И. Боумен и К. Зауэр в США, отчасти О. Шлютер в Германии; отчасти А.И. Воейков в России.

Теория Т. Мальтуса. В 1798 году Т. Мальтус опубликовал свою книгу «Опыт о законе народонаселения» (*Essay on the Principle of Population*), в которой обосновывались три основных тезиса:

- Из-за биологической способности человека к продолжению рода его физические способности используются для увеличения своих продовольственных ресурсов;
- Народонаселение строго ограничено средствами существования;
- Рост народонаселения может быть остановлен лишь встречными причинами, которые сводятся к нравственному воздержанию или несчастьями (войны, эпидемии, голод);

Т. Мальтус приходит к выводу, что народонаселение растет в геометрической прогрессии, а средства существования – в арифметической.

Идеи Мальтуса оказали мощное позитивное воздействие на развитие биологии, во-первых, через их влияние на Дарвина, а, во-вторых, через развитие на их основе математических моделей популяционной биологии.

Применительно к человеческому обществу мнение Мальтуса о том, что сокращение численности населения ведет к увеличению среднего дохода на душу населения, повлекло за собой формирование в 1920-х теории оптимальной численности населения, при котором доход на душу населения максимален. Однако в настоящее время теория малоприменима в решении реальных социально-экономических задач, но хороша в аналитике, так как позволяет судить о недо- или перенаселении.

Современные последователи Мальтуса, неомальтузианцы, так говорят о современных малоразвитых странах: «Рождаемость в них высокая, как в аграрных странах, а смертность низкая, как в индустриальных из-за медицинской помощи более развитых стран». Считают, что прежде, чем помогать им, надо решить проблему контроля рождаемости.

В целом, теория Мальтуса продемонстрировала свою высокую объясняющую способность применительно к доиндустриальным обществам, хотя никто не ставит под сомнения того факта, что для эффективного использования её для объяснения динамики современных общества (даже в странах третьего мира), она нуждается в самых серьезных модификациях; впрочем, с другой стороны, теория Мальтуса продемонстрировала самую высокую способность адаптироваться к подобным модификациям и встраиваться в них. Идеи Мальтуса были частично использованы К. Хаусхофером в его работах по геополитике и теории "жизненного пространства".

Гипотеза Геи (англ. *Gaia hypothesis*, также гипотеза Гайи или Гайя-

гипотеза от англ. *Gaia*) – разновидность геотеизма, теория о Земле как суперорганизме, который в результате саморегуляции способен поддерживать основные параметры среды на постоянном уровне. Так при различных уровнях энергии, поступающей от Солнца, температура поверхности планеты может оставаться приблизительно на одном уровне. Предложена в 1979-х годах британским экологом *Дж.Лавлоком*, предшественником которого был *Дж.Хаттон*, «отец» современной геологии. Он ещё в 1785 году высказал предположение о том, что Земля – сверхживой организм, имеющий свои системы обмена веществ и дыхания (которые и выражаются геологическими процессами – такими, например, как эрозия). Идеи Хаттона были похоронены Дарвином, утверждавшим, что в ходе естественного отбора живые организмы приспосабливаются к любым условиям, какие только может предоставить им планета.

Дж. Лавлок, британский химик, приглашенный в Калифорнию Американским космическим агентством, готовившим к запуску серию зондов, призван был оценить степень вероятности существования жизни на Марсе и Венере и создать инструментарий для выявления мизерных концентраций тех или иных химических элементов в атмосфере. Лавлок указал на методологическую ошибку (невозможно предугадать, какой именно химией «питается» жизнь, следует разработать общий принцип поиска жизни в космосе) и сформулировал собственный метод энтропийного анализа. В мертвом мире энтропия нарастает. Предоставленная сама себе атмосфера безжизненной планеты рано или поздно уравнивает собственное содержимое, достигая энергетического покоя. Противодействует же энтропийному росту – жизнь, потребляющая энергетически активные элементы и выбрасывающая мертвый шлак. Следовательно, планета с атмосферой из углекислого газа почти наверняка должна быть безжизненной. Напротив, присутствие кислорода должно указывать на присутствие жизни.

В сентябре 1965 года Лавлок пришёл к мысли о том, что земная жизнь научилась поддерживать необходимые для себя условия существования, вступив с планетой в некую форму взаимовыгодного сотрудничества. Писатель *Уильям Голдинг* предложил Лавлоку назвать теорию в честь древнегреческой богини Земли – гипотезой Геи. НАСА встретило гипотезу в штыки, поскольку к этому времени уже было известно, что Марс и Венера «дышат», в основном, двуокисью углерода. Известный биолог *Р. Докинз* выступил с категорическим утверждением о том, что «гипотеза Геи» противоречит теории эволюции Дарвина.

К началу 70-х годов у теории Лавлока стали появляться защитники и последователи. В 1970 году *Л. Маргулис*, биолог Бостонского университета, высказала мысль о том, что связующую роль в поле взаимодействия между жизнью и планетой должны играть микроорганизмы. Лавлок сделал свое знаменитое «серное предсказание». До тех пор бытовало мнение, будто сера, вымываемая в океан из почвы, возвращается на сушу в виде сероводорода. Лавлок выразил в этом сомнение, В 1971 году он организовал исследовательскую экспедицию и доказал, что сера поднимается в атмосферу в виде диметилсульфида (DMS), производимого разлагающимися морскими водорослями. Так гипотеза

Геи получила себе первое практическое подтверждение.

Решающую роль в её становлении сыграл созданный Лавлоком компьютерный мир *Daisyworld* – модель планетарной жизни, основанная как раз на принципах теории эволюции Дарвина. В 2002 году один из последователей Лавлока, эволюционист *Т.Лентон* (Университет *East Anglia*) выступил с заявлением о том, что гипотеза не только не противоречит учению Дарвина, но и дополняет его. А год спустя *Т. Сугимото* (Kanagawa University) показал, как открытые Дарвином процессы адаптации стимулируют «гееобразные» процессы, помогая жизни укреплять свои позиции на нашей планете.

В тоже время, по мнению биолога профессора П. Уорда, представление о Земле как сверхорганизме, поддерживающем жизнь на планете, является ошибочным. Он напоминает, что большинство массовых вымираний на Земле происходило не по внешним причинам, а по внутренним, например геологическим. По мнению Уорда, Земля не сможет «исцелить себя», если вдруг человечество исчезнет, она не обладает гипотетической «мудрой саморегуляцией».

Устойчивое развитие. Исследуя стратегию взаимоотношений между окружающей средой и развитием, Комиссия Брунтланд ввела в широкое употребление термин «устойчивое развитие». Этот термин был известен и ранее, но использовался только специалистами. По определению Комиссии, *«Устойчивое развитие – это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности»*.

В совместном программном документе ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирного союза охраны природы (МСОП) и Всемирного Фонда охраны природы (ВВФ) – «В заботе о Земле. Стратегия устойчивости жизни» (1991 г.), приводится следующее определение: *«Устойчивое развитие это такое улучшение качества жизни людей, которое сохраняет потенциальную емкость экологических систем, обеспечивающих жизнь»*.

В соответствии с этим документом, принципы устойчивого развития заключаются в следующем:

1. Воздействие человека на экосферу не должно превышать ее потенциальную емкость.

2. Сохранение возобновимых ресурсов:

а) Сохранение основных процессов экосферы (биогеохимических циклов, гидрологического цикла, климатической системы, процессов почвообразования и др.);

б) Сохранение биологического разнообразия;

в) Использование возобновимых ресурсов в пределах их прироста.

3. Расходование невозобновимых ресурсов, не превышающее скорость создания их заменителей, с последующим прекращением использования невозобновимых ресурсов.

4. Справедливое распределение выгод от и затрат на природопользование как внутри стран, так и между странами.

5. Внедрение более эффективных технологий в промышленности, сельском хозяйстве, энергетике и пр.

6. Использование экономических инструментов, учитывающих экологические ценности, часто не выражаемые количественно.

7. Совершенствование управления природопользованием:

а) Развитие соответствующей системы законодательства;

б) Долгосрочное (перспективное) планирование, включающее и вопросы экологии;

в) Следование принципу «предвидеть и предотвращать», а не «реагировать и исправлять». В соответствии с этим, введение государственной системы экологической экспертизы (с обязательным участием общественности), включающей оценку воздействия проектов на окружающую среду;

г) Очень высокое положение в системе государственной власти и столь же значительные возможности организации (министерства, ведомства), отвечающей за вопросы экологии, и лица, ее возглавляющего.

8. Развитие морально-этических факторов и принципов:

а) Формирование этики устойчивого развития;

б) Совершенствование экологического образования на всех уровнях;

в) Укрепление традиций общественного экологического самосознания.

Для оценки геоэкологического состояния страны или другой территории необходимо иметь определенные показатели (индикаторы) этого состояния. Цель геоэкологических индикаторов – сообщать в понятной для неспециалиста (например, политика или лица, принимающего решения) форме о состоянии окружающей среды и его изменениях (в том числе антропогенных) таким образом, чтобы обнаруживать возникающие проблемы и оценивать эффективность осуществления стратегии, направленной на решение данной проблемы.

Поскольку концепция устойчивого развития основана на достижении динамического баланса между экономическими, социальными и геоэкологическими факторами, необходимо иметь соответствующие индикаторы, интегрирующие эти факторы.

Кроме того, концепция устойчивого развития предполагает, что суммарное богатство страны или мира в целом, состоящее из четырех видов капитала (природного, материально-финансового, человеческого и социального) не должно уменьшаться. Для осуществления мониторинга состояния суммарного капитала также необходимы индикаторы устойчивого развития. В последние годы в этой области работает ряд национальных и межнациональных групп специалистов, предложивших большой набор как геоэкологических индикаторов, так и индикаторов устойчивого развития. Однако, вследствие чрезвычайной сложности проблем, найти один или всего лишь несколько приемлемых для всех потребителей универсальных показателей геоэкологического состояния и, в особенности, устойчивого развития, пока не удается.

Например, С. Мураи предлагает систему индикаторов состояния страны и показателей устойчивого развития (табл. 1.1), разработанную главным образом на материале Японии. Она дает представление о возможном наборе основных индикаторов устойчивого развития. Применение для других стран индикаторов и критериев состояния устойчивого развития, предлагаемых Мураи, требует проверки в части полноты и репрезентативности набора индикаторов, а также с

точки зрения приоритетности показателей устойчивого развития для каждой страны.

Разнообразная информация об экономическом, геоэкологическом, социальном и др. состоянии отдельных территорий, стран и мира в целом, собирается в настоящее время различными системами мониторинга. Это огромные массивы нескоординированных и необработанных данных, которые в таком виде не могут быть использованы. После соответствующей обработки и анализа эти данные представляют собой исходный материал для индикаторов. Комбинации агрегированных (обобщенных и сжатых), обработанных и проанализированных данных превращаются в индикаторы (например, изменения площади пашни, приходящейся на душу населения в стране X, это простейший индикатор, состоящий из двух рядов данных: общей площади пашни и численности населения.) Комбинации индикаторов образуют индексы, наиболее сложные и наиболее агрегированные из всех показателей (например, индекс состояния экономики Нидерландов за год образован из четырех среднегодовых индикаторов: роста валового национального продукта, уровня безработицы, уровня инфляции и величины дефицита бюджета).

Таблица 1.1

Критерии устойчивого развития (по С. Мураи)

Индикатор развития	Устойчивое	Критическое	Разрушительное
Рост населения	<0,5% в год	1,0-1,5% в год	>2,0% в год
Валовой национальный продукт за год	3%<ВНП<5%	8%<ВНП<10%	ВНП>10% ВНП<0%
Обезлесение	<0,1% в год	0,5-1,0% в год	>1% в год
Отн. площадь лесов	>30%	15-20%	<10%
Площадь пашни	>0,3 га/чел.	0,15-0,2 га/чел.	<0,1 га/чел.
Обеспечение собственным зерном	>90%	60-70%	<50%
Плотность городского населения	<50 чел./га	100-150 чел./га	>200 чел./га
Численность населения города	<0,5 млн чел.	>1 млн чел.	>10 млн чел.

Необходимость разработки геоэкологических индикаторов и индексов с целью оценки состояния стран и его изменения в результате антропогенной деятельности была признана Конференцией ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро. Еще до Конференции, в конце 1980-х годов, правительства Канады и Нидерландов приступили к разработке концепции геоэкологических индикаторов. В 1989 г. на ежегодной конференции глав семи наиболее развитых капиталистических стран было принято обращение к Организации Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСР) о разработке геоэкологических индикаторов. (ОЭСР объединяет все развитые капиталистические страны мира). В результате была разработана концепция, организующая геоэкологическую информацию в три взаимосвязанные группы индикаторов: индикаторов нагрузки на окружающую среду, индикаторов ее состояния и индикаторов ее реакции на изменения ее состояния.

Этот подход основан на относительно простых вопросах: Что происходит с

состоянием окружающей среды и природных ресурсов? Почему это происходит? Что общество делает в ответ на эти изменения? Индикаторы состояния дают ответ на первый вопрос, индикаторы нагрузки – на второй, и индикаторы действий, предпринятых обществом в ответ на полученную информацию, – на третий.

Авторы коллективной работы, выполненной в Институте мировых ресурсов (Вашингтон, США) (1995), предлагают задачу разработки следующих четырех ключевых геоэкологических индексов:

- Индекса загрязнения окружающей среды;
- Индекса истощения ресурсов;
- Индекса риска состояния экосистем;
- Индекса экологического воздействия на благосостояние людей.

Индекс загрязнения окружающей среды используется правительством Нидерландов. Он состоит из шести тщательно проанализированных и обобщенных (агрегированных) индикаторов: эмиссии в атмосферу газов с парниковым эффектом, асидификации окружающей среды, эвтрофикации окружающей среды, дисперсии токсичных веществ, обработки твердых отходов, неудобства от запахов и шума. Этот индекс отражает суммарное давление на окружающую среду как поглотитель загрязнений. Для этого необходимо было совмещать несравнимые величины, что было достигнуто посредством придания различного веса каждой из проблем, отраженных соответствующим индикатором. Вес определялся на основе существующего различия между текущим значением индикатора и его долгосрочной целью: чем значительнее различие, тем больше вес. Наибольший вес был придан индикаторам эмиссии газов с парниковым эффектом, дисперсии токсичных веществ и асидификации (в порядке снижения приоритетности). Общий тренд за период 1980-1991 гг. демонстрирует снижение геоэкологической нагрузки приблизительно на 15%, главным образом, благодаря выполнению долгосрочной национальной стратегии устойчивого развития.

Тенденции изменения, как индивидуальных индикаторов, так и композитного индекса загрязнения указывают на то, движется ли страна к цели устойчивого развития или удаляется от нее.

Индикаторы загрязнения окружающей среды Нидерландов публикуются правительством, ежегодно начиная с 1991 г. Они привлекают значительное внимание общественности. По ним судят об успешности деятельности правительства и частного сектора. Индикаторы сжимают огромное количество данных в простые и понятные показатели, они ведут к обсуждению конкретных действий в области снижения загрязнения окружающей среды и способствуют, таким образом, выполнению стратегии устойчивого развития, принятой парламентом Нидерландов.

Сравнение такого индекса для ряда подобных стран позволит сравнивать степень их экосферного загрязнения и определять приоритетные направления для международного сотрудничества.

Киотский протокол. Глобальное потепление климата Земли является одной из наиболее существенных проблем, вставшей перед человечеством в по-

следние 20 лет. В значительной степени возникновение этой проблемы связано с антропогенным ростом концентрации парниковых газов в атмосфере (углекислого газа, оксидов азота, метана, гидрофторуглеродов, перфторуглеродов и гексафторида серы). Согласно оценкам II отчета Межправительственной рабочей группы экспертов по изменению климата, при условии сохранения существующих тенденций роста выбросов парниковых газов в следующие 100 лет произойдет глобальное потепление климата Земли на 2,5-3,0°C. Существенным образом это изменение затронет и Россию, где площадь территорий с положительными аномалиями температуры за последние годы постоянно превышает площадь с отрицательными.

В целях организации международной деятельности по предотвращению изменении климата в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро на Конференции ООН по окружающей среде и развитию была принята Рамочная конвенция ООН по изменению климата.

Киотский протокол к Рамочной конвенции был принят на III сессии Конференции участников Конвенции (COP-3) в Киото, Япония, 10 декабря 1997 г. Основной целью этого Протокола является определение принципов международной и страновой политике в области предотвращения глобального потепления климата посредством снижения антропогенных выбросов парниковых газов развитыми и индустриальными странами и установление рамочных ограничений на эти выбросы. До настоящего времени Киотский протокол еще не ратифицирован всеми подписавшими его участниками.

Энергетический сектор является одним из основных источников выбросов CO₂ и других парниковых газов, поэтому именно на энергетику ложится задача обеспечения наибольшего вклада в сокращение выбросов парниковых газов за счет создания более экологически приемлемых способов производства и использования энергии.

В силу вышеизложенного, реализация целей Киотского протокола является первоочередной задачей как государств Приложения I Протокола, так и остальных стран мира.

Приведем краткий обзор основных положений Киотского протокола и мер по их реализации.

В целях выполнения целей и задач Киотского протокола страны Приложения I к Рамочной конвенции обязались осуществлять политику в области энергоэффективности, расширения использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и улучшения функционирования внутренних рынков применением рыночных инструментов в соответствии со особенностям каждой страны.

В соответствии со Статьей 3 Протокола страны Приложения I были намерены отдельно или совместно уменьшать свои выбросы парниковых газов в соответствии с целями Приложения к Киотскому протоколу для уменьшения совокупных эмиссий, по меньшей мере на 5% за период 2008-2012 гг. Снижение выбросов могло быть достигнуто посредством торговли квотами на выбросы, совместного исполнения обязательств странами Приложения I и путем применения механизма чистого развития (вне Приложения I).

Страны, не вошедшие в Приложение I, не приняли на себя обязательств по снижению будущих выбросов. Таким образом, наибольшие обязательства по реализации положений Киотского протокола ложатся на страны, указанные в Приложении I к Рамочной конвенции (Приложение «В» к Протоколу), на долю которых в середине 90-х годов XX века приходилось более 60% всех выбросов парниковых газов. В число этих стран входят и все страны МЭА, за исключением Турции. Киотским протоколом были установлены следующие нормативы снижения и дальнейшего поддержания уровня выбросов парниковых газов к отчетному периоду 2008-2012 гг. (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Задания по ограничениям на выбросы парниковых газов по странам Киотского протокола (отношение за период 2008-2012 гг. к уровню 1990 г., %)

Европейский Союз, Австрия, Бельгия, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Ирландия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Португалия, Испания, Швеция, Великобритания, Швейцария, Лихтенштейн, Монако, Болгария, Румыния, Словакия, Словения, Чехия, Латвия, Литва, Эстония	8
США	7
Канада, Япония, Венгрия, Польша	6
Хорватия	5
Россия, Украина, Беларусь, Новая Зеландия	0
Норвегия	+1
Австралия	+8
Исландия	+10

Примечание. По данным Energy Policy of IEA Countries 1998 Review, OECD/IEA, Paris, 1998.

Страны, перевыполнившие свои обязательства в первый отчетный период, согласно Протоколу смогут использовать это уменьшение в следующих отчетных периодах. Обязательства на следующий отчетный период будут закладываться за 7 лет до окончания первого отчетного периода. Таким образом, для первого периода это должно было произойти в 2005 г.

В соответствии с положениями Протокола страны Приложения I обязуются минимизировать негативное воздействие на состояние климата, а также оказывать помощь развивающимся странам в действиях по его предотвращению посредством финансирования, страхования и передачи технологий в данные страны.

В июне 1998 г. Совет министров ЕС по охране окружающей среды утвердил соглашение о распределении между странами ЕС обязательств по сокращению выбросов, что предусмотрено Протоколом: любые страны-участницы Приложения I, достигшие соглашения о совместном исполнении обязательств, могут считать, что их обязательства выполнены, если их суммарные совокупные выбросы парниковых газов не превышают суммарный уровень, установленный Киотским протоколом. Распределение обязательств между странами ЕС было следующим:

Люксембург – 28 %; Германия – 21%; Дания – 21%; Австрия – 13%; Великобритания – 12,5%; Бельгия – 7,5%; Италия – 6,5%; Нидерланды – 6%; Финляндия – 0%; Франция – 0%; Швеция – +4%; Ирландия – +13%; Испания –

+15%; Греция – +25%; Португалия – +27%.

Стороны Приложения I имеют возможность передавать или приобретать единицы сокращений выбросов парниковых газов, полученные от реализации проектов, направленных на сокращение антропогенных выбросов или увеличение поглощения парниковых газов в любых секторах экономики. При этом Протоколом рекомендовано, чтобы данные проекты являлись дополнительными мероприятиями по отношению к национальным действиям по снижению эмиссии парниковых газов.

Данное положение может способствовать и уже используется Россией для получения целенаправленных инвестиций и современных энергоэффективных, энергосберегающих и более экологически чистых технологий развитых государств.

В соответствии с Протоколом все его участники обязуются разрабатывать, публиковать, осуществлять и своевременно пересматривать программы, включающие мероприятия по снижению выбросов и адаптации к изменениям климата в энергетическом, промышленном и в транспортном секторах. Стороны также должны разрабатывать и поощрять распространение экологически чистых технологий. Особый упор должен быть сделан на научно-техническое сотрудничество и развитие участия в межгосударственных мероприятиях в этой области. Финансовые ресурсы для реализации указанных действий могут предоставляться странами Приложения I через двустороннее, региональное и многостороннее участие.

Киотским протоколом был предусмотрен ряд инструментов, стимулирующих сотрудничество между государствами, указанными в Приложении I: механизм совместного выполнения, механизм чистого развития и торговля квотами на выбросы парниковых газов.

В соответствии с механизмом чистого развития страны, указанные в Приложении I, начиная с 2000 г. имели возможность оказывать помощь странам, не упомянутым в Приложении I, с зачетом в своих обязательствах сокращений выбросов парниковых газов, полученных в результате реализации проектов, выполненных с участием стран, оказывающих помощь. Этот механизм позволяет, например, России осуществлять экологические проекты на территории стран СНГ с зачетом ее выбросов, которые в дальнейшем можно будет использовать в торговле квотами.

Торговля квотами на выброс парниковых газов позволяет сторонам Приложения I производить перераспределение квот на выбросы, в том числе коммерческую передачу или приобретение прав на выбросы в целях исполнения своих обязательств в рамках Киотского протокола. Принципы этой торговли должны пройти процесс согласования между сторонами Приложения I.

Механизм торговли позволяет России, являющейся наиболее крупным потенциальным продавцом квот на выбросы, привлечь крупномасштабные инвестиции в отрасли ТЭК, промышленность, транспорт. Сбалансированное применение механизмов гибкости, предусмотренных Киотским протоколом, позволило бы России привлекать и использовать современные технологии и одновременно поддерживать резерв квот на выбросы для выполнения своих обя-

зательств и создания гарантии устойчивого экономического развития на перспективу.

Анализ потенциальных объемов выбросов парниковых газов в долгосрочном периоде, проведенный специалистами Института энергетической стратегии Минтопэнерго России, показывает необходимость реинвестирования средств, полученных от использования данных механизмов, в дальнейшие крупномасштабные мероприятия, при этом такое реинвестирование не может осуществляться исключительно на коммерческой основе и требует специального регулирования.

Для России наибольший интерес представляют предусмотренные Протоколом проекты совместного осуществления, торговля квотами на выбросы, совместное финансирование с участием МФО и специальных многосторонних экологических и кредитных фондов.

Прибыль от торговли квотами на выбросы парниковых газов для России к 2020 г. может составить сотни миллионов долларов, при этом ее размер зависит от соблюдения ограничений на выбросы парниковых газов. В связи с этим Россия должна занимать твердую позицию на всех переговорах, связанных с использованием механизмов гибкости. Для контроля движения этого предмета торговли необходимо создать общую систему учета. Формирование международных фондов по страхованию рисков и инвестированию в проекты по сокращению выбросов позволит существенно снизить издержки, связанные с выполнением подобных проектов.

В настоящее время в целях практического применения механизмов гибкости Киотского протокола Минтопэнерго России и Госкомэкологии России в рамках Межведомственной рабочей группы подготовило комплексную программу по модернизации объектов электроэнергетики, нефтяной, нефте- и газоперерабатывающей и нефтехимической промышленности в целях сокращения выбросов парниковых газов на предприятиях ТЭК.

Наибольший интерес для России в этом отношении представляют США, Япония, Канада, Франция и Италия, которые заинтересованы в выполнении своих обязательств по Киотскому протоколу путем использования механизмов гибкости.

В настоящее время наиболее активно развивается сотрудничество с Японией. В рамках данной программы подготовлен перечень из 86 потенциальных проектов, из которых предварительно отобрано 20. По девяти проектам японской стороной подготовлено предварительное ТЭО, было выбрано два пилотных проекта. Для этих целей правительством Японии должно быть принято решение о выделении льготного Экологического кредита (40 лет погашения с 10-летней отсрочкой платежа, процентная ставка – LIBOR+0,75% годовых). Одним из существенных условий реализации проектов является предоставление государственных гарантий по кредитам. В качестве не денежных гарантий может быть рассмотрена передача японской стороне квот на выбросы, в том числе полученных в результате модернизации предприятий в России.

Реализация данной программы очень важна с точки зрения привлечения инвестиций в отечественную энергетику, а также возможности адаптации со-

временных технологий и увеличения экономической эффективности функционирования предприятий российского ТЭК.

В настоящее время интерес к реализации экологических проектов в российской энергетике проявили также Италия и Франция. В целом, реализация положений Протокола позволит значительно улучшить экологическую ситуацию в России и других странах с переходной экономикой.

В развитых странах прилагаются значительные усилия к реализации положений Киотского протокола. В частности, в ЕС приняты директивы по развитию нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и атомной энергетики, по энергоэффективности и энергосбережению, повышению экологичности использования угля, по введению экологических налогов на потребление топлив и ряд других основополагающих документов, прямо или косвенно направленных на реализацию целей Киотского протокола.

Политика и тенденции в области нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, повышения энергоэффективности и энергосбережения. Вполне очевидно, что экстенсивное развитие энергетики сопровождается значительным отрицательным воздействием на окружающую среду. Кроме того, увеличение производства и потребления энергии без одновременного снижения энергоемкости мировой экономики приведет к достаточно скорому исчерпанию невозобновляемых источников энергии, таких как нефть и газ. Проблема их сохранения и надлежащего использования становится особенно актуальной вследствие того, что ископаемые топлива служат также сырьем для нефтехимии.

С учетом все возрастающего потребления энергии единственным путем снижения энергоемкости является разработка и внедрение энергосберегающих и энергоэффективных технологий и методов, а также расширение использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, таких как энергия солнца и природных процессов, биомасса, и, возможно, энергия управляемого термоядерного синтеза.

Разработка эффективной современной и перспективной политики, направленной на снижение энергоемкости экономики и расширение использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, является предметом постоянного внимания как отдельных стран, включая Россию, так и международных сообществ, в первую очередь, объединяющих развитые страны, в особенности страны ЕС и ОЭСР.

Базовая энергетическая политика стран МЭА фокусируется на следующих основных задачах:

- решении экологических проблем в энергетике в соответствии с целями Киотского протокола, предусматривающем в основном снижение эмиссий CO₂ за счет использования не возобновляемых источников энергии;
- повышении энергосбережения и энергоэффективности в отраслях энергетики и в промышленности в целом;
- повышении экономической эффективности энергетики, в первую очередь посредством усиления конкуренции и дерегулирования рынков электроэнергии и газа (в особенности в ЕС).

Одновременное достижение всех указанных выше целей может вызвать существенные затруднения. В то время как первые задачи требуют для своего решения государственного регулирования и проведения специальной экологической и научно-технической политики, решение третьей опирается на применение рыночных механизмов. Например, в то время как высокие цены оказывают стимулирующее влияние на развитие энергоэффективности и энергосбережения, разумеется, при условии наличия достаточного инвестиционного потенциала и соответствующих технологий, политика открытого рынка направлена на их снижение. В то же время существуют аспекты, по которым данные направления дополняют друг друга. Например, замена угля на газ, когенерация тепла и электричества на ТЭЦ, уменьшающая одновременно выбросы CO₂ и других парниковых газов. В конкурентной среде экономические инструменты имеют больше возможностей влиять на повышение эффективности, нежели в монополистической среде, которая в меньшей степени стимулирует промышленный сектор минимизировать издержки.

Общая политика развитых стран по отношению к целям и задачам энергоэффективности и энергосбережения и расширения использования возобновляемых источников энергии базируется на сочетании поощрения инвестиций в новые технологии и создания стимулов к их применению, в том числе налоговых режимов и субсидирования, особенно в странах Европы и США.

Чтобы понять ситуацию, в которой находится Россия, надо ответить на вопросы: «Почему развитые страны, которых в основном и касаются ограничения, являются активными участниками и инициаторами экологических соглашений? Почему это движение имеет большую политическую поддержку развивающихся стран?» Несомненно, играет роль желание всех стран оздоровить среду обитания и избежать неблагоприятных, а для многих и катастрофических последствий ее изменений. Однако не меньшую роль играют и соображения экономической и политической выгоды. Оказалось, что, возглавив это движение и вложив в научные и прикладные исследования определенные средства, можно получить не только большую прибыль, но и целый ряд экономических, социальных и политических преимуществ. В этой связи часто приводится в пример компания Du Pont, которая, являясь одним из крупнейших производителей фреонов, первоначально выступала против возможной связи разрушения озонового слоя с эмиссией ХФУ в атмосферу, но изменила свою позицию, щедро поддержала научные исследования в области физики и химии атмосферы и в нужное время предложила на рынок озонобезопасные технологии и вещества. Похожий путь прошли Imperial Chemical Industries (ICI), Hoechst AG, Atochem SA, Allied Signal Inc., Showa Denko KK, которые сейчас практически монополизировали мировую торговлю не только озонобезопасными продуктами, но и средствами их производства. Более того, Du Pont и ICI оказали влияние на разработку самих критериев оценки опасности веществ для озонового слоя, что помогло им задать определенное направление развития некоторых важных отраслей на последующие годы.

Прямое вовлечение промышленных корпораций в научные, в том числе фундаментальные исследования с одной стороны позволило выполнить целый

ряд дорогостоящих проектов по изучению атмосферы Земли: проведены экспедиции в Антарктику, модернизирована система мониторинга атмосферы, проведены лабораторные эксперименты в области химии атмосферы и многое другое, а с другой – задает некоторые рамки развития научного процесса. Это хорошо иллюстрируется следующим примером: непродолжительный спад содержания озона в 1993-1994 годах, вызванный, как сейчас уже очевидно, естественными процессами, интерпретировался многими учеными, в средствах массовой информации как влияние ОРВ на фазе снижения (1994 г.) и как позитивный результат Монреальского процесса на фазе восстановления нормального уровня озона (1995 г.). При этом все они отлично понимали, что никаких подобных резких глобальных изменений не может происходить из-за большой инертности атмосферы.

Когда экологическое движение становится предметом государственной политики, а не политики одной или нескольких корпораций, то эффект может быть намного более позитивным. Согласно Национальному плану действий в связи с изменением климата, принятому Правительством США в 1993 г., затраты на снижение эмиссии парниковых газов в период 1994-2000 гг. составляет 60 млрд. долларов. Однако за счет повышения эффективности расходования энергии за тот же период будет сэкономлено 60 млрд. долларов. А в период с 2000 по 2010 годы положительный эффект составляет уже 207 млрд. долларов. Поскольку страна параллельно решает целый ряд задач в области развития науки, образования и здравоохранения, а также в области политики и экономики, то, очевидно, инициирование процесса по сохранению климата выгодно США, и квота равная 7% в основном укладывается в заранее запланированные рамки снижения эмиссий.

Аналогичные интересы имеют другие развитые страны Запада и Япония. Страны третьего мира пока участвуют в процессе скорее как заинтересованные сторонние наблюдатели. С одной стороны, не имея развитых научных центров, они не могут ставить под сомнение результаты исследований, согласно которым наиболее тяжелые последствия уменьшения озонового слоя и потепления климата ожидают именно население тропического пояса. С другой стороны, экологические требования и санкции пока не затрагивают развивающиеся страны. По Протоколу, принятому в Киото, они не имеют никаких конкретных обязательств. А по Монреальскому протоколу обязательства не являются жесткими, так как эти страны были ориентированы не на производство, а на потребление ОРВ. К тому же цена основных заменителей ниже, чем ранее использовавшихся фреонов Ф-11 и Ф-12 и составляет примерно 3 доллара за 1 кг вместо 5 долларов.

Россия оказалась в совершенно другой ситуации. Советский Союз, подписывая в 1985 г. конвенцию по защите озонового слоя, руководствовался, скорее, политическими и идеологическими соображениями. На государственном уровне не было сделано практически ничего, чтобы как-то защитить экономические интересы страны, не говоря уже о том, чтобы получить какую-либо выгоду из Монреальских соглашений. Разрушив высокорентабельную отрасль промышленности, связанную с производством ОРВ, 60% которых шли на экс-

порт, Россия не смогла перестроиться на производство озонобезопасных веществ (ОБВ). Соответственно в тяжелом положении оказались смежные отрасли, производящие аэрозоли бытового и технического назначения (46% потребления ОРВ), холодильники и кондиционеры (27%), средства пожаротушения (14%), пенопласты (11%), растворители (2%).

Выделенный Глобальным экономическим фондом на реконструкцию российских предприятий безвозмездный грант в 60 млн. долларов не решает проблемы. Россия еще долго будет вынуждена закупать ОБВ и технологии их производства. К тому же уже заметна тенденция к быстрой смене этих веществ в соответствии с периодически меняющимися критериями опасности. Так фреон Ф-134а – основной заменитель ОРВ – оказался активным парниковым газом (хотя это было известно уже давно) и Du Pont переориентируется на производство новых веществ.

Усиливается прессинг и в части ужесточения санкций к странам, не выполняющим требований соглашений. На Апрельской (1998 г.) встрече руководителей министерств охраны окружающей среды стран большой восьмерки (с участием России) принято решение начать активную борьбу с контрабандным производством и распространением ОРВ. Очевидно, это решение, прежде всего, адресовано России.

Среди многих причин, из-за которых Монреальский процесс обернулся для России бедствием, особо выделяется отстранение отечественной науки от оценки обоснованности принимаемых решений и разработки рекомендаций. Подготовленная сразу после подписания Конвенции в 1985 г. Национальная комплексная программа исследования атмосферного озона, позже трансформированная в Программу перевода отечественной промышленности на производство и использование ОБВ. Что самое парадоксальное, в начале 80-х годов в СССР при этом действовала авторитетная научная школа в области исследований озона, которая имела особо важные достижения как раз в направлении изучения процессов разрушения озонового слоя и образования его неоднородностей. Вполне обоснованно, наши специалисты возражали против однозначного объяснения уменьшения озона действием антропогенных факторов. Сейчас уже всем очевидно, что в значительной степени эти долговременные естественные вариации связаны с солнечной активностью, атмосферной циркуляцией, вулканической деятельностью. Даже при скромной поддержке исследований в области физики и химии атмосферы некоторые положения Монреальского протокола могли бы быть совсем другими, более полезными для нашей страны.

По тем же причинам успех нашей делегации в Киото не вызывает большого удовлетворения. Как и в США, где несколько лет подряд под патронажем президента не только ведутся целенаправленные научные исследования причин изменения климата и возможных последствий, но и реализуются широкие государственные и общественные инициативы в области экономии ресурсов, снижения загрязнения атмосферы, экологического образования детей и молодежи, в России так же предпринимаются заметные действия в этих направлениях.

На примере нашей самой благополучной газовой отрасли можно видеть, к каким сложным поворотам приводит такая позиция. Известно, что наша страна

обладает 36% всех разведанных запасов природного газа – метана. Это огромный потенциал развития отечественной экономики. Но метан относится к парниковым газам, выбросы которых в атмосферу в 2012 г. не должны превышать для России уровня 1990 г.

Совсем недавно западные эксперты провели переоценку времени жизни в атмосфере CH_4 и его парниковый потенциал (эффективность воздействия на климат относительно воздействия CO_2) вырос в 2 раза. Это резко увеличивает возможный вклад CH_4 в общее потепление климата на планете.

Согласно принятым оценкам глобальный поток метана в атмосферу от всех возможных источников, естественных и антропогенных, составляет 470 млн. тонн в год. Из них на долю утечек из систем добычи, переработки и транспортировки газа приходится от 30 до 110 млн. тонн/год. При этом вклад США считается равным 3,2 млн. тонн/год, а всех западных стран вместе – 10 млн. тонн/год. Откуда же тогда такие широкие пределы неопределенности? Они связываются с возможными утечками газа в Восточно-Европейских странах и, прежде всего, в России из-за некачественного оборудования и неэффективной системы ее переработки и транспортировки. Доказательством этого служит повышенный уровень концентрации CH_4 над территорией России в основном в Западной Сибири.

Между тем уникальные измерения над Россией с помощью вагона-лаборатории изотопного состава CH_4 , проведенные Институтом физики атмосферы РАН совместно с группой специалистов из Института химии Макса Планка (Германия), возглавляемой лауреатом Нобелевской премии проф. П. Крутценом, показали, что практически весь метан над Западной Сибирью имеет природное биогенное происхождение и никак не связан с газодобычей. Т.е. потери на объектах РАО «Газпром» примерно такие же, как и в западных странах. Эти важные результаты, полученные только благодаря финансовой поддержке со стороны немецкого Института, восприняты учеными разных стран и снимут обвинения России в загрязнении атмосферы метаном, но есть еще множество других рычагов давления на нашу экономику. Особенно с принятием новой конвенции по тропосферному озону.

Вопросы по Главе 1:

1. Назовите основные этапы изучения геоэкологических проблем.
2. Каковы основные принципы географического детерминизма?
3. Энвайронментализм как научное направление изучения геоэкологических проблем.
4. Перечислите основные положения теории Мальтуса.
5. В чем заключаются принципы устойчивого развития?
6. Назовите основные критерии устойчивого развития.
7. Раскройте основные положения Киотского протокола.

Глава 2 Атмосфера

2.1. Основные особенности атмосферы и климата Земли. Влияние деятельности человека на атмосферу и климат

Атмосфера – это газовая оболочка Земли с содержащимися в ней аэрозольными частицами. Она движется вместе с твердой Землей как единое целое и одновременно принимает участие во вращении Земли. Газы сжимаемы, и потому плотность воздуха наибольшая у земной поверхности, убывая кверху. Половина всей массы атмосферы сосредоточена в нижних 5 км, а три четверти – в нижних 10 км.

Атмосфера состоит из концентрических слоев (тропосферы, стратосферы, мезосферы, термосферы, экзосферы и магнитосферы), отличающихся своими характеристиками. В нижнем из слоев – тропосфере – температура воздуха убывает с высотой; средняя величина вертикального градиента температуры составляет $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$. Выше тропосферы падение температуры с высотой в конце концов сменяется ее ростом. В тропиках толщина тропосферы в среднем составляет 15-17 км, в умеренных широтах – 10-12 км, над полюсами – до 8-9 км. В тропосфере сосредоточено $4/5$ всей массы воздуха атмосферы и почти весь водяной пар. Она взаимодействует с нижележащими оболочками Земли.

Большая часть геоэкологических проблем, относящихся преимущественно к атмосфере, сосредоточена в тропосфере, и в особенности на нижней ее границе.

Физическое состояние атмосферы в данной точке в данный момент времени называется погодой. В свою очередь, совокупность атмосферных условий (то есть погод) данной местности за многолетний период называют локальным климатом. Конкретные типы локальных климатов определяются такими географическими факторами как широта места, распределение суши и моря, положение места по отношению к океанам, а также его положение в системе общей циркуляции атмосферы, крупномасштабные особенности рельефа, растительный покров, снежный покров и морские льды, океанические течения. Из локальных климатов складываются географически обусловленные климаты на территориях более высоких рангов, вплоть до континентов, океанов и Земли в целом.

В формировании погоды и климата участвуют три основных взаимосвязанных и взаимообусловленных группы атмосферных процессов, называемых климатообразующими: теплооборот, влагооборот и атмосферная циркуляция.

Вследствие большой подвижности атмосферы и относительно быстрого ее перемешивания в нижних 100 км процентное соотношение содержащихся в ней газов постоянно (в % по объему):

- Азот – 78,08;
- Кислород – 20,95;
- Аргон – 0,93;
- Углекислый газ – 0,03.

На долю остальных нескольких десятков, и даже сотен газов приходится всего лишь 0,01%, но многие из этих газов играют значительную роль в состоянии экосферы.

Процессы и особенности атмосферы изменяются под воздействием деятельности человека. Локальные изменения состояния природно-территориальных комплексов (ландшафтов), такие как возникновение и развитие городов, оросительных и других земледельческих систем, антропогенные преобразования пастбищ, возникновение водохранилищ и пр. ведут к локальным изменениям климата. Крупномасштабные антропогенные изменения поверхности Земли (например, обезлесение, опустынивание, деградация внутренних морей и озер и др.) также обуславливают изменения особенностей теплового и водного режима на больших территориях и акваториях, хотя пока еще менее заметные.

Наряду с изменениями физических особенностей атмосферы с вытекающими отсюда последствиями, происходят антропогенные изменения ее газового состава. По-видимому, в настоящее время роль человека проявляется сильнее в этой области, и химические трансформации в атмосфере создают ряд серьезных геоэкологических проблем. К их числу надо отнести антропогенное изменение климата и его последствия, нарушение естественного состояния озонового слоя, асидификацию экосферы, включая кислотные осадки, и локальное загрязнение атмосферы.

2.2. Антропогенное изменение климата и его последствия.

Парниковый эффект

Ведущую роль в парниковом эффекте играет водяной пар, находящийся в атмосфере.

К основным парниковым газам относятся: углекислый газ (диоксид углерода) (CO_2), метан (CH_4), оксиды азота, в особенности N_2O , и озон (O_3). В эту же категорию следует включить не встречающуюся в природе группу газов, синтезируемых человеком, под общим названием хлорфторуглероды.

Парниковый эффект каждого из таких газов зависит от трех основных факторов:

а) ожидаемого парникового эффекта на протяжении ближайших десятилетий или веков (например, 20, 100 или 500 лет), вызываемого единичным объемом газа, уже поступившим в атмосферу, по сравнению с эффектом от углекислого газа, принимаемым за единицу;

б) типичной продолжительности его пребывания в атмосфере;

в) объема эмиссии газа.

Комбинация первых двух факторов носит название «Относительный парниковый потенциал» и выражается в единицах от потенциала CO_2 . Она является удобным показателем текущего состояния парникового эффекта и используется в международных дипломатических переговорах. Относительная роль каждого из парниковых газов весьма чувствительна к изменению каждого фактора и к их взаимозависимости, и потому определяется приближенно.

Газы с парниковым эффектом. Для понимания глобального парникового эффекта необходимо понять роль каждого из газов. Как видим, картина отличается большой сложностью и изменчивостью во времени.

Роль *водяного пара*, содержащегося в атмосфере, в общемировом парниковом эффекте велика, но трудноопределима однозначно. При потеплении климата содержание водяного пара в атмосфере будет увеличиваться, тем самым усиливая парниковый эффект.

Диоксид углерода, или углекислый газ, отличается, по сравнению с другими парниковыми газами, относительно низким потенциалом парникового эффекта, но довольно значительной продолжительностью существования в атмосфере – 50-200 лет и сравнительно высокой концентрацией. Доля диоксида углерода в парниковом эффекте составляет в настоящее время около 64%, но эта относительная величина неустойчива, поскольку зависит от изменяющейся роли других парниковых газов.

Основной источник поступления углекислого газа в атмосферу – сжигание горючих ископаемых (угля, нефти, газа) для производства энергии. Около 80% всей энергии в мире производится за счет тепловой энергетики.

Сокращение лесов тропического и экваториального пояса, деградация почв, другие антропогенные трансформации ландшафтов приводят в основном к высвобождению углерода, которое сопровождается его окислением, то есть образованием CO_2 . В целом эмиссия в атмосферу за счет преобразования тропических ландшафтов составляет $1,6 \pm 1,0$ млрд. т углерода.

В атмосфере в результате деятельности человека ежегодно дополнительно накапливается $3,3 \pm 0,2$ млрд. т углерода в виде углекислого газа.

Мировой океан поглощает из атмосферы (растворяет, химически и биологически связывает) около $2,0 \pm 0,8$ гигатонн углерода в виде углекислого газа. Суммарные величины поглощения углекислого газа океаном пока непосредственно не измеряются. Они рассчитываются на основе моделей, описывающих обмен между атмосферой, поверхностным и глубинным слоями океана.

Увеличение концентрации диоксида углерода в атмосфере должно стимулировать процесс фотосинтеза. Это так называемая *фертилизация*, благодаря которой, по некоторым оценкам, продукция органического вещества может возрасти на 20-40 % при удвоенной по сравнению с современной концентрацией углекислого газа. Исследования процесса фертилизации проводились пока только в лабораторных условиях. Глобальная оценка поглощения углекислого газа растительностью мира вследствие фертилизации на 1980-е годы составляет 0,5-2,0 млрд. т за год. В балансе антропогенных потоков углерода все пока еще плохо понимаемые процессы, протекающие в экосистемах суши, включая фертилизацию, оцениваются в $1,3 \pm 1,5$ млрд. т.

Если рассчитать баланс углерода в атмосфере, то цифры не сходятся, невязка баланса значительна, и более глубокое ее объяснение – один из крупнейших, но пока нерешенных вопросов. По-видимому, необходимо более углубленное изучение режима антропогенного углерода как в Мировом океане и отдельных его частях, так и в экосистемах суши.

Метан также играет заметную роль в парниковом эффекте, составляющую

приблизительно 19% от общей его величины (на 1995 г.). Метан образуется в анаэробных условиях, таких как естественные болота разного типа, толща сезонной и вечной мерзлоты, рисовые плантации, свалки, а также в результате жизнедеятельности жвачных животных и термитов. Оценки показывают, что около 20% суммарной эмиссии метана связаны с технологией использования горючих ископаемых (сжигание топлива, эмиссии из угольных шахт, добыча и распределение природного газа, переработка нефти). Всего антропогенная деятельность обеспечивает 60-80% суммарной эмиссии метана в атмосферу.

В атмосфере метан неустойчив. Он удаляется из нее вследствие взаимодействия с ионом гидроксила (ОН) в тропосфере. Несмотря на этот процесс, концентрация метана в атмосфере увеличилась примерно вдвое по сравнению с доиндустриальным временем и продолжает расти со скоростью около 0,8% в год.

Эмиссия метана из болот зоны избыточного увлажнения Северного полушария и из районов вечной мерзлоты весьма чувствительна к изменениям температуры и осадков. Измерения показывают, что рост температуры и увеличение увлажненности (то есть продолжительности нахождения территории в анаэробных условиях) еще более усиливают эмиссию метана. Это характерный пример положительной обратной связи. Наоборот, снижение уровня грунтовых вод из-за пониженной увлажненности должно приводить к уменьшению эмиссии метана (отрицательная обратная связь).

Текущая роль *оксида азота* (N_2O) в суммарном парниковом эффекте составляет всего около 6%. Концентрация оксида азота в атмосфере также увеличивается. Предполагается, что его антропогенные источники приблизительно вдвое меньше естественных. Источниками антропогенного оксида азота является сельское хозяйство (в особенности пастбища в тропиках), сжигание биомассы и промышленность, производящая азотсодержащие вещества. Его относительный парниковый потенциал (в 290 раз выше потенциала углекислого газа) и типичная продолжительность существования в атмосфере (120 лет) значительны, компенсируя его невысокую концентрацию.

Хлорфторуглероды – вещества, синтезируемые человеком, и содержащие хлор, фтор и бром. Они обладают очень сильным относительным парниковым потенциалом и значительной продолжительностью жизни в атмосфере. Их итоговая роль в парниковом эффекте составляет, на середину 1990-х годов, приблизительно 7%. Производство хлорфторуглеродов в мире в настоящее время контролируется международными соглашениями. Так, Венской конвенцией 1985 г. и Монреальским протоколом 1987 г. по защите озонового слоя были запрещены производства низших хлорфторуглеродов.

Озон – важный парниковый газ, находящийся как в стратосфере, так и в тропосфере. Он влияет как на коротковолновую, так и на длинноволновую радиацию, и потому итоговые направление и величина его вклада в радиационный баланс в сильной степени зависят от вертикального распределения содержания озона, в особенности на уровне тропопаузы, где надежных наблюдений пока недостаточно. Поэтому определение вклада озона в парниковый эффект сложнее по сравнению с хорошо перемешиваемыми газами.

2.3. Асидификация экосферы и кислотные осадки

Аэрозоли – это твердые частицы в атмосфере диаметром от 10^{-9} до 10^{-5} м, или от 10^{-3} до 10^1 микрон. Они образуются вследствие ветровой эрозии почвы, извержений вулканов и других природных процессов, а также благодаря деятельности человека (сжигание горючих ископаемых и биомассы).

Антропогенные аэрозоли двояко влияют на радиационный баланс Земли:

а) непосредственно, через поглощение и рассеивание солнечной радиации;
б) косвенно, так как аэрозоли действуют как ядра конденсации, играющие важную роль в образовании и развитии облаков, влияющих, в свою очередь, на радиационный баланс.

Существует много неопределенностей в понимании роли аэрозолей в парниковом эффекте из-за высокой региональной изменчивости их концентрации и химической композиции, при малом количестве непосредственных наблюдений. В целом можно сказать, что антропогенные аэрозоли снижают величину радиационного баланса, то есть несколько компенсируют антропогенный парниковый эффект.

Асидификация – это антропогенный природный процесс повышения кислотной реакции компонентов экосферы, прежде всего атмосферы, гидросферы и педосферы, а также и усиления воздействия повышенной кислотности на другие природные явления. Кислотные осадки известны еще с середины прошлого века, когда в окрестностях Манчестера (Англия) Роберт Ангус Смит измерил кислотность атмосферных осадков и в результате измерений назвал их кислотными дождями. Затем, более 50 лет тому назад, в Скандинавии возникла проблема асидификации внутренних вод суши, в особенности озер. В последующие годы стало больше известно о воздействии кислотных компонентов на ухудшение состояния почв и о влиянии увеличивающейся кислотности на биологические компоненты ландшафтов суши. Одновременно увеличивались, и еще будут расти площади мира, подверженные процессу повышения кислотности. Так локальное явление кислотных осадков в небольшом старопромышленном районе Англии превратилось в глобальную проблему асидификации.

В естественных условиях атмосферные осадки обычно имеют нейтральную или слабо кислую реакцию, то есть показатель их кислотности/щелочности обычно меньше 7,0 ($\text{pH} < 7$). В присутствии углекислого газа и при температуре 20°C дождевая вода имеет pH равный 5,6. В присутствии других природных газов pH дождевой воды снижается примерно до 5,0. Однако, часто случается выпадение атмосферных осадков, имеющих значительно более кислую реакцию. Кислотная реакция осадков может быть в 10 раз больше ($\text{pH} = 4$), и даже временами, в очень загрязненных районах, достигать величины 3,5. Принято, что кислотные осадки (или «кислотные дожди») это осадки с $\text{pH} < 5$.

Кислотные осадки бывают двух типов: сухие, обычно выпадающие недалеко от источника их поступления в атмосферу, и влажные (дождь, снег и пр.), распространяющиеся на большие расстояния, соизмеримые с размерами континентов, и потому зачастую превращающие проблему кислотных осадков в международную.

Основные компоненты кислотных осадков – аэрозоли оксидов серы и азота (SO_x и NO_x), которые при взаимодействии с атмосферной, гидросферной или почвенной влагой образуют серную, азотную и другие кислоты. Аммиак (NH_3) – еще один основной компонент кислотных осадков.

Кислотные осадки имеют как естественное, так и антропогенное происхождение. Основные природные источники – извержения вулканов, лесные пожары, дефляция почв и др. Источниками антропогенных кислотных осадков являются процессы сжигания горючих ископаемых, главным образом угля, в тепловых электростанциях, в котельных, в металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и др. Пока основным источником энергии остаются горючие ископаемые, в целом для мира доля антропогенных источников будет неуклонно увеличиваться, ухудшая состояние атмосферы, а через нее и экосферы в целом. Напомним, что тепловая энергетика – также и источник эмиссии углекислого газа, главного фактора глобального изменения климата.

В настоящее время антропогенная эмиссия кислотных соединений для мира в целом превышает их суммарные естественные выбросы, а в Северном полушарии это соотношение достигает 90:10. Так, в 2000 году антропогенная эмиссия диоксида серы в атмосферу втрое превышала природные выбросы (соответственно 75 и 25 млн. т. в год).

Эмиссия азота только вследствие сжигания горючих ископаемых более чем вдвое превысила основные природные выбросы.

Другой источник кислотных соединений – сельское хозяйство. В настоящее время естественная фиксация соединений азота в процессе построения растительной массы уже не в состоянии обеспечить потребности земледелия в этом биогенном элементе. Приходится увеличивать использование азотных удобрений и расширять площади под бобовыми и рисом, поскольку эти культуры обладают азотфиксирующими свойствами. Часть азотных соединений при этом уходит в окружающую среду.

Вследствие широкого использования ископаемого топлива в Европе и Северной Америке, эти территории выбрасывают в атмосферу около 70% общемирового объема веществ, образующих антропогенные кислотные осадки, при населении, составляющем только 14% населения мира. Основные области распространения кислотных осадков – промышленные районы (Северная Америка, Западная Европа, Япония, Корея и Китай, промышленные узлы в России, отдельные пятна в развивающихся странах). Доля развивающихся стран в распространении кислотных осадков постоянно нарастает, и будет еще увеличиваться. В особенности заметным будет усиление асидификации в Азии.

По состоянию на начало 90-х годов XX века, вклад России в глобальную эмиссию диоксида серы составлял 12%, оксидов азота – 6%. Вклад США – соответственно 21% и 20%. Суммарное поступление оксидов азота на единицу площади США в 11 раз больше, чем в России, а диоксида серы – в три раза. Эти цифры не говорят о хорошей экологической ситуации в России, они лишь указывают на то, что экологическая нагрузка по кислотным выпадениям в США относительно выше, чем в нашей стране. На территории России фоновое загрязнение оксидами серы и азота отмечается практически повсеместно, в осо-

бенности в Европейской части России.

Так же как изменение климата тесно взаимосвязано с антропогенными воздействиями на глобальный биогеохимический цикл углерода, так кислотные осадки и асидификация – это проявление антропогенных изменений глобальных биогеохимических циклов азота и серы.

Поскольку главный антропогенный источник кислотных осадков – тепловая энергетика, то основной путь контроля кислотных осадков – снижение эмиссии оксидов серы и азота посредством таких технологических приемов как использование менее загрязняющего топлива благодаря промывке измельченного угля перед его сжиганием, понижение температуры сжигания угля, извлечение серы из отходящих газов и т.п. Однако все эти приемы повышают стоимость производимой энергии. Другой, принципиально иной путь – экономия в использовании энергии.

Кислотные осадки переносятся на значительные расстояния и поэтому возникает необходимость в международном сотрудничестве в вопросах контроля загрязнения окружающей среды. С этой целью в 1979 г. заключена европейская (с участием США и Канады) Конвенция по трансграничному переносу загрязнений воздуха, к которой впоследствии добавился ряд протоколов по сокращению эмиссий оксидов серы и азота. В процессе выполнения Конвенции достигнуты значительные успехи в снижении асидификации. В большей степени успехи относятся к соединениям серы, в меньшей – к соединениям азота.

Локальное загрязнение воздуха. Выше уже говорилось, что геоэкологические проблемы могут иметь или глобальный, или универсальный характер. Первые охватывают всю Землю или, по крайней мере, имеют размеры, соизмеримые с океанами или континентами. Вторые многократно повторяются во многих точках или небольших территориях мира. Загрязнение воздуха – пример проблемы универсальной, встречающейся как чрезвычайно серьезная локальная проблема во многих местах мира.

Фоновое загрязнение воздуха охватывает площади, соизмеримые с площадью континентов или всего мира. Оно связано с поллютантами, отличающимися относительно продолжительным временем жизни в атмосфере. К ним относятся парниковые газы, оксиды азота и серы и некоторые другие вещества. Рост их концентрации в атмосфере свидетельствует о том, что естественный экологический баланс нарушен, и природная поглотительная емкость атмосферы исчерпана.

На фоновое загрязнение воздуха наложены крупные пятна локального загрязнения. Это в основном проблема больших городов и крупных промышленных предприятий и узлов. Она возникла как одна из первых экологических проблем в промышленно развитых странах, где достигла своего пика приблизительно в 60-х годах XX века. С тех пор благодаря осуществляемым целенаправленным стратегиям качество воздуха в городах Западной Европы, Северной Америки и Японии в целом улучшилось.

Практически во всех больших городах развивающихся стран качество воздуха весьма низкое и продолжает ухудшаться. Это одна из важнейших проблем, влияющая на здоровье людей и состояние городских и пригородных экосистем.

Приблизительные расчеты, например, показывают, что вдыхание вредных веществ за сутки пребывания человека в воздухе Мехико, Одного из самых крупных городов мира, эквивалентно выкуриванию двух пачек сигарет.

В России очень высокое загрязнение атмосферного воздуха (превышение допустимого уровня в 10 и более раз) в 1997 г. наблюдалось в 66 городах, а превышение допустимых концентраций по одной или нескольким примесям отмечалось в 187 городах, где проживает 65,4 млн. человек. Уровень загрязнения воздуха в целом снизился вследствие сокращения промышленного производства, но в ряде городов средние концентрации различных примесей возросли вследствие неритмичности работы предприятий и залповых сбросов загрязнений, а также роста числа частных автомобилей.

Основными источниками загрязнения воздуха являются теплоэнергетика, черная и цветная металлургия, химическая промышленность, транспорт, нефте- и газопереработка. В 150 городах России объем выбросов транспорта превышал объем выбросов промышленных предприятий. В Москве выбросы от работы транспорта в 1993-1997 годах составляли 70-80% общего объема выбросов.

Каждый индустриальный источник загрязнения выделяет в воздух десятки тысяч веществ. Из них основные это пыль, зола, оксиды серы, азота, углерода, соединения тяжелых металлов, углеводороды, озон, органические вещества и др. Вот как они распределяются по некоторым основным группам предприятий-загрязнителей:

- *Теплоэнергетика: оксиды углерода, серы и азота, пыль, металлы;*
- *Транспорт: оксиды углерода и азота, углеводороды, тяжелые металлы;*
- *Черная металлургия: пыль, диоксид серы, фтористые газы, металлы;*
- *Нефтепереработка: углеводороды, сероводород, дурнопахнущие газы;*
- *Производство цемента: пыль.*

Последствия локального загрязнения воздуха столь же многообразны, как и загрязнители. По статистике, собранной в США, в городах с высоким загрязнением воздуха заболеваемость выше чем в сельской местности на 15-17%. Есть все основания полагать, что этот показатель для ряда городов России еще хуже. В экосистемах городов и прилегающих территорий накапливаются вредные вещества (например, тяжелые металлы), а растительность трансформирована или угнетена. Радиус зоны вредных воздействий достигает нескольких десятков километров. Например, вокруг Норильска растительность погибла или чрезвычайно сильно трансформирована на расстоянии до 100 км от города. Подобная ситуация характерна и для центров цветной металлургии Кольского полуострова.

Регулярный государственный учет выбросов загрязняющих веществ, оказывающих вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду, в атмосферный воздух ведется на 18000 предприятий России (по состоянию на 1993 г.). Кроме того, Государственная служба наблюдений за загрязнением окружающей среды Роскомгидромета измеряла концентрации вредных веществ в воздухе почти всех городов России с населением более 100 тыс. жителей (в 334 городах).

Основными направлениями защиты воздушного бассейна являются:

а) Санитарно-технические мероприятия (строительство сверхвысоких труб, установка газопылеочистного оборудования, герметизация производственных процессов и др.). Основная масса очищаемых и улавливаемых веществ – твердые частицы. В России во многих "грязных" отраслях (энергетика, черная и цветная металлургия, химия и пр.) улавливается до 90% пылевых частиц, но уровень очистки от газообразных веществ пока не превышает 30%;

б) Технологические мероприятия (внедрение малоотходных или безотходных технологий, соответствующая подготовка сырья, замена "сухих" технологических способов на "мокрые" и т.п.);

в) Пространственно-планировочные мероприятия (выделение санитарно-защитных зон, планировка городской и промышленной застройки в соответствии с преобладающими ветрами, озеленение и пр.);

г) Контрольно-запретительные мероприятия (введение величин предельно допустимых концентраций веществ и предельно допустимых выбросов в окружающую среду, запрещение производства отдельных веществ, временная приостановка загрязняющей деятельности, мониторинг загрязнения воздуха).

В ряде стран, а также во Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) утверждены стандарты, ограничивающие допустимые уровни загрязнения. В России основным показателем, используемым для контроля качества воздуха, являются предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе (ПДК). Используются два типа ПДК: в воздухе рабочей зоны (ПДК_{рз}) и в атмосферном воздухе населенного пункта (ПДК_{ав}).

ПДК_{ав} – это максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного влияния, включая отдаленные последствия, и не оказывает вредного влияния на окружающую среду в целом.

Во многих случаях содержание вредных веществ на выходе из трубы превышает величины ПДК, но вследствие турбулентности атмосферы происходит перемешивание и рассеивание примесей, и их содержание на уровне земли может оказаться ниже ПДК. Поэтому для управления качеством воздуха используется норматив, называемый предельно допустимым выбросом (ПДВ) и устанавливаемый с таким расчетом, чтобы концентрация загрязняющих веществ в приземном слое воздуха не превышала нормативов качества воздуха для населения, а также для растений и животных. Если концентрация примесей все же больше, чем ПДК, и снижение ПДВ до требуемых значений не может быть обеспечено по объективным (например, технологическим) причинам, то устанавливаются временно согласованные выбросы (ВСВ).

Принципиальный путь – внедрение малоотходных технологий, иными словами, предотвращение загрязнений, а не очистка от них на заключительном этапе производства.

Несмотря на весьма сложные геоэкологические процессы, связанные с деятельностью человека в атмосфере, все же не будет ошибкой сказать, что из систем четырех основных геосфер (атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы) простейшая – это атмосфера. Под сложностью (или, наоборот, простотой)

понимается количество связей и компонентов, присущее данной геосфере. В атмосфере развились кризисные ситуации общемирового значения возможно, потому, что чувствительность атмосферы к антропогенным воздействиям наивысшая вследствие ее относительной простоты.

2.4. Стратегии, связанные с проблемой изменения климата

Стратегия сотрудничества распадается на два основных компонента: *управление и приспособление*. При стратегии управления проблемой основные усилия направлены на снижение эмиссии парниковых газов, прежде всего углекислого газа. При осуществлении стратегии приспособления разрабатываются, например, комплексные проекты защиты конкретных прибрежных зон (систем) от растущего уровня моря.

Основной документ, регулирующий сотрудничество в области изменения климата, – Конвенция ООН по изменению климата, принятая в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро на Конференции ООН по окружающей среде и развитию.

Конвенция следующим образом определяет понятие «изменение климата»: *«Изменение климата, которое приписывается прямо или косвенно деятельности человека, изменяющей состав атмосферы Земли, в дополнение к естественным колебаниям климата, наблюдаемым за периоды времени сравнимой продолжительности»*. Основная задача Конвенции записана в ее Статье 2. Это *«... стабилизация концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который предотвратил бы опасное антропогенное вмешательство в климатическую систему. Этот уровень должен быть достигнут в пределах времени, необходимого для естественной адаптации экосистем к изменениям климата, с тем, чтобы не подвергнуть риску производство продовольствия и позволить продолжать экономическое развитие устойчивым образом.»* В соответствии с Конвенцией, страны-участники должны взять на себя обязательство по сокращению эмиссии парниковых газов, и прежде всего углекислого газа.

В рамках Конвенции действуют механизмы переговоров и консультаций, конкретизирующих выполнение общей задачи. Механизмом всестороннего научного понимания проблемы изменения климата с целью разработки рекомендаций по стратегии является Межправительственный Комитет по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change или IPCC), объединяющий, по меньшей мере, несколько сотен ведущих специалистов мира. Межправительственный Комитет вырабатывает рекомендации по стратегии, но решения все же остаются за правительствами, периодически собирающимися на Конференции членов Конвенции.

Отчет Межправительственного Комитета (1995 г.) указывает на следующие главнейшие трудности проблемы изменения климата, стоящие перед правительствами:

- *Проблема содержит много неопределенностей, причем они неизбежны вследствие сложности проблемы;*
- *Уровень затрат, или же невозполнимых потерь, может быть очень высок;*

- *Период планирования чрезвычайно продолжителен;*
- *Сдвиг во времени между эмиссиями парниковых газов и их последствиями весьма велик;*
- *Региональные вариации последствий очень велики, но очень плохо предсказуемы;*
- *Проблема может решаться только на глобальном уровне и только при условии общемирового сотрудничества, что не так просто;*
- *Необходимо разрабатывать стратегии по отношению ко многим парниковым газам и аэрозолям.*

2.5. Международные конвенции по атмосфере и климату и интересы России

Уже первые признаки проявления в 70-е годы этих опасных явлений имели большой общественный резонанс. В отличие от многих «домашних» экологических неприятностей (загрязнение почвы и воды, опустынивание, сокращение видов животных и растительности и т.д.), проблемы, связанные с загрязнением атмосферы, носят глобальный характер. Каждая страна в отдельности ничего не может с ними поделать. К тому же виновниками их появления вполне обоснованно считались промышленно-развитые страны, которые и должны были нести основные расходы по их устранению.

Интенсивные и результативные научные исследования и большая заинтересованность общественности привели к принятию важных международных соглашений:

- 1) *Женевской конвенции о дальнем трансграничном переносе загрязняющих примесей и Протокола к ней о сокращении выбросов NO_x;*
- 2) *Венской конвенции о защите озонового слоя (1985 г.) и Монреальского протокола об ограничении и запрещении производства озоноразрушающих хлорфторуглеводородов (1987 г.);*
- 3) *Рамочной конвенции об изменении климата (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) и Протокола об ограничении выброса парниковых газов (Киото, 1997 г.).*

Если первые соглашения по трансграничному переносу носили больше рекомендательный характер, то последующие уже содержали обязательные для исполнения конкретные требования. Беспрецедентным в этом отношении явился Монреальский протокол. Тщательно подготовленные и сформулированные цели, требования и санкции за их неисполнение продемонстрировали возможность решения сложнейших экологических проблем. В 1987 году его подписали 36 стран. Предусматривалось сначала заморозить на уровне 1986 г., а к 1993 г. сократить на 20% производство наиболее опасных ХФУ. Эти требования были с опережением выполнены. В 1990 г. в Лондоне правительства 92 стран приняли обязательства полностью прекратить производство ОРВ к 2000 году. В число запрещаемых веществ были дополнительно включены широко используемые в народном хозяйстве и в быту четыреххлористый углерод, метилхлороформ, метилбромид. В 1992 г. в Копенгагене дата прекращения производства ХФУ была перенесена на 1996 г., а список озоноразрушающих веществ пополнился целым се-

мейством соединений - гидрохлорфторуглеродами. Они должны быть полностью исключены из производства и потребления к 2030 году.

В год десятилетия Монреальского протокола уже 163 страны стали участниками движения за сохранение озонового слоя. Не все страны оказались способны выполнить подписанные соглашения, в том числе и Россия. В 1990 г. в республике производилось 198 тыс. тонн ОРВ, что составляло около 20% от мирового уровня. В 1992 г. производство упало до 146,5 тыс. тонн, а в 1996 г. – до 18 тыс. тонн. Однако полное прекращение производства ОРВ Россия может обеспечить только к 2000 г. Страны Венской конвенции с пониманием отнеслись к предложению Правительства России (1995 г.) продлить срок полного запрещения производства и потребления ОРВ в связи с экономическими трудностями и пока не применяют экономических санкций к нашей стране.

Опыт согласованных международных действий по защите озонового слоя в полной мере был использован странами при разработке конвенции по климату. В 1992 г. 176 стран подписали Рамочную конвенцию и только в 1997 г. – Протокол об ограничении выброса в атмосферу парниковых газов. Подготовка и принятие последнего документа проходили в острой борьбе, поскольку ограничения на величину выброса прямо влияют на развитие промышленности, энергетики, транспорта в каждой из стран участников соглашения.

Протокол предусматривал в целом сократить объем выбросов парниковых газов в период 2008 – 2012 гг. на 5,2% по сравнению с 1990 г. При этом страны ЕС должны были сократить выбросы на 8%, США – на 7%; Япония, Канада, Польша, Венгрия – на 6%. Россия и Украина могли сохранить величину эмиссии на уровне 1990 г. Российская делегация комментировала это решение как успех отечественной дипломатии.

Участники конференции в Киото пошли значительно дальше, по сравнению с Монреальским соглашением. В новом Протоколе в общем виде предложен механизм торговли квотами на эмиссии. Страны, превышающие установленные нормы могут покупать квоты тех стран, где эти нормы не достигаются. Таким образом, начал формироваться совершенно новый экологический рынок квот, на котором, очевидно, будут сосредоточены огромные финансовые ресурсы.

Подобное успешное продвижение в направлении экологической безопасности заставляет пересмотреть первые мало эффективные решения, касающиеся улучшения качества приземного воздуха. В 1996 г. на встрече министров экологии ряда Европейских стран был инициирован процесс подготовки новой конвенции о тропосферном озоне, концентрация которого в приземном воздухе за последние 100 лет выросла в 2-3 раза и приблизилась к тому уровню, когда озон становится опасным для человека и живой природы (содержание озона в тропосфере составляет 12-15% от общего количества и поэтому его рост не компенсирует разрушения стратосферного озонового слоя). Предварительное обсуждение возможных ограничительных и запретительных мер показало, что список запрещенных к производству веществ будет существенно более весомым, чем в двух предыдущих случаях. Очевидно, эти меры затронут многие жизненно важные отрасли народного хозяйства. Кроме того, будущая конвен-

ция имеет более выраженный региональный характер и поэтому, возможно, запреты, ограничения и распределение квот на эмиссии будут проводиться, в том числе, и по отдельным регионам.

Вопросы по Главе 2:

1. Опишите строение атмосферы и дайте характеристику газовому составу атмосферы.
2. Назовите основные причины формирования и негативные последствия парникового эффекта.
3. Раскройте механизм образования кислотных дождей и их влияние на биосферу.
4. Назовите основные направления защиты атмосферы от промышленных загрязнителей.
5. Перечислите основные стратегии защиты от глобального потепления.
6. Раскройте содержание международных конвенций по атмосфере и климату.

Глава 3 Гидросфера

3.1. Основные особенности гидросферы

Гидросфера – водная оболочка Земли, представляющая совокупность всех водных объектов планеты: океанов, морей, рек, озер, болот, ледников, снежного покрова и подземных вод. В состав гидросферы также входит вода в атмосфере, почвенная влага и вода живых организмов. В гидросфере представлены основные фазовые состояния воды – жидкое, твердое и газообразное. Это сплошная оболочка Земли, хотя иногда и невидимая, в случае, когда она представлена только водяным паром или почвенной влагой.

Даже в сверхаридных пустынях суммарный запас воды в атмосфере и почве (даже без учета подземных вод) составляет 10^4 г/см^2 , то есть 100000 мм. Суммарные запасы воды всех видов в различных точках мира очень сильно различаются: например, различие между океаном и пустыней составляет по крайней мере 10^3 раз.

«Невидимость» гидросферы в отдельных ее участках также совсем не означает, что ее роль пренебрежимо мала. Наоборот, водяной пар в атмосфере – необходимый участник важнейшего геоэкологического процесса: создания первичной биологической продукции, или фотосинтеза, а почвенная влага – практически обязательный компонент процесса создания растительной биомассы Земли. Кроме того, как водяной пар, так и почвенная влага играют важнейшую роль в глобальном гидрологическом цикле.

Пространственно гидросфера фактически совпадает с экосферой. Гидросфера проникает во все другие геосферы и играет важнейшую роль в глобальных процессах обмена веществом и энергией. Вода в природе принимает участие, часто решающее, во многих разнообразных природных процессах и, в соответствии с особенностями того или иного процесса, отличается различной подвижностью. Кроме того, вода гидросферы играет важнейшую роль в глобальном цикле вещества, осуществляя эрозию и денудацию горных пород, перенос и отложение продуктов их разрушения.

Вода обладает чрезвычайно высокой растворяющей способностью. Дистиллированной воды в природе не бывает вовсе, и, наоборот, природные растворы разнообразнейшего содержания и различной концентрации встречаются всюду в экосфере и играют решающую роль в глобальных геологических и биогеохимических круговоротах веществ. По словам В.И. Вернадского о значении воды: *«... нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов»*.

Физические свойства воды весьма специфичны: большие величины скрытой удельной теплоты фазовых переходов (испарения, конденсации, таяния, сублимации), значительная теплоемкость, малая молекулярная теплопроводность, нетривиальная зависимость плотности от температуры и др. Эти специфические свойства оказывают серьезное влияние на те, многие природные процессы, в которых участвует вода. В особенности значительную роль в глобаль-

ных процессах играет очень высокая величина скрытой удельной теплоты испарения-конденсации, потому что 84% солнечной радиации, поглощаемой поверхностью Земли, расходуется на испарение. Это, в свою очередь, обеспечивает влагоперенос и, в конечном итоге, круговорот воды, или гидрологический цикл. Тем самым, энергия Солнца как бы запускает и поддерживает глобальный круговорот воды.

Другое очень важное физическое свойство воды это ее высокая теплоемкость, определяющая многие природные процессы. Например, огромный теплозапас океанов оказывает решающее влияние на геоэкологическое состояние Земли.

Океаны и моря покрывают 71% общей площади Земли, а вместе с водными объектами суши (ледники, озера, водохранилища, болота и др.) общая покрытость Земли водой составляет почти 3/4. Это обстоятельство, вследствие высокой теплоемкости воды и значительной энергии ее фазовых переходов, имеет огромное значение для теплового и водного режима нашей планеты, а потому является решающим в формировании почв и растительности и, следовательно, всего облика Земли.

В Мировом океане содержится 96,4% общего объема гидросферы. Эта огромная масса состоит из двух слоев: верхнего, относительно теплого, и основного, холодного, с температурами 4°C и ниже. Океан играет важнейшую и весьма неоднозначную роль терморегулятора экосферы.

На суше основную массу воды содержат ледники (1,86% от общих запасов и 70,3% от запасов пресных вод), существенно влияющие, благодаря их высокой отражательной способности (альбедо), на формирование глобального теплового баланса атмосферы и поверхности Земли. Общий объем подземных вод составляет 1,68% гидросферы. Из них примерно половина – пресные воды.

Из общего объема вод гидросферы – 1338 млн. км³, пресных вод – всего лишь 2,64%, что составляет слой воды на поверхность суши мира равный приблизительно 240000 мм.

Мировой океан, ледники и подземные воды, то есть водные объекты замедленного водообмена, содержат 99,94% всей воды гидросферы. Реки – важнейший компонент гидросферы, отличающийся высокой скоростью водообмена. Суммарный объем воды в реках мира составляет 0,0002% от общих запасов воды и 0,005% от запасов пресных вод. Однако роль именно этой, «быстрой» влаги в функционировании экосферы и отдельных ее частей столь велика, что ее невозможно переоценить. Кроме того, именно эта вода – один из основных природных ресурсов, используемых человечеством, отличающийся к тому же высокой скоростью возобновления.

Важнейшим процессом в экосфере является глобальный круговорот воды, или, по другой терминологии, гидрологический цикл. Он служит основой единства географической оболочки, играя важнейшую роль во всемирном обмене веществом и энергией. Главным образом, под воздействием солнечной энергии вода испаряется с поверхности океанов и суши. Испарившаяся влага включается в процесс атмосферного влагопереноса. При этом часть атмосферного потока влаги выпадает в виде атмосферных осадков, снова испаряется, снова выпадает

в виде осадков, и т.д. Так осуществляются влагообороты в пределах материков и океанов.

Глобальный круговорот воды состоит из океанического и материкового звеньев, взаимосвязанных обменом водяного пара между океаном и сушей, и стоком с суши в океан. Преобладающая часть выпадающих на сушу осадков испаряется, остальное стекает в океан, главным образом, в виде речного стока, а также стока подземных вод и отрыва ледников в море. На почти третьей части неледниковой поверхности суши речные воды не имеют стока в океан и заканчиваются в бессточных впадинах, часто заполненных озерами.

Состояние гидросферы Земли, а также и любой ее части, характеризуется ее *водным балансом*. С достаточной для большинства задач точностью можно принять, что общая масса гидросферы остается постоянной, по крайней мере, в течение кайнозоя, то есть последних десятков миллионов лет. Изменения гидрологического состояния Земли связаны не с изменениями общего мирового объема воды, а с пространственным перераспределением воды, в особенности с изменениями соотношения запасов воды в океанах и ледниковых покровах. При большем развитии оледенения на Земле вода гидросферы в большей степени концентрируется в ледниках, и уровень Мирового океана понижается. И наоборот, высокий уровень океана соответствует относительно малому объему ледниковых покровов. Проявления этого соотношения наблюдаются в настоящее время, в связи с последствиями изменения климата.

Уравнения водного баланса для океана и суши со стоком в океан и областей внутреннего стока (бессточных) выглядят следующим образом:

$$\text{Для Мирового океана:} \quad P_o + R_L - E_o = AW_o$$

$$\text{Для областей со стоком в океан:} \quad P_L - E_L - R_L = AW_L$$

$$\text{Для областей с внутренним стоком:} \quad P_c - E_c = AW_c$$

Здесь P – осадки, E – испарение, R – сток, AW – изменения запаса влаги в соответствующей области. Индексы: O – в Мировом океане, L – в областях со стоком в Мировой океан, C – в областях с внутренним стоком.

Сложим почленно все три уравнения, одновременно объединяя однородные компоненты баланса:

$$(P_o + P_L + P_c) - (E_o + E_L + E_c) - (R_L - R_L) = AW_o + AW_L + AW_c.$$

Для Земли в целом ($m = o + L + c$) получим:

$$P_m - E_m = AW_m.$$

Поскольку, в соответствии со сказанным выше, объем воды на Земле практически постоянен ($AW_m = 0$), то за многолетний период общемировые величины осадков и испарения должны быть равны:

$$P_m = E_m.$$

Все компоненты глобального водного баланса пока определяются с невысокой точностью, около 10-20%, и данные, приводимые различными авторами, заметно отличаются друг от друга.

Осадки на океанах и значительных частях суши измеряются в относитель-

но немногих точках, что при высокой пространственной изменчивости осадков приводит к существенным погрешностям в определении их величин в мировом водном балансе.

Сток, при наличии достаточно продолжительных гидрометрических измерений, определяется с наибольшей, по сравнению с другими компонентами, точностью. Однако во многих районах мира регулярные гидрометрические измерения не проводятся. В особенности следует отметить необходимость, но и недостаточность регулярных наблюдений за стоком крупнейших рек мира.

Испарение, как с суши, так и с водной поверхности, почти совсем не измеряется. Оно или рассчитывается для отдельных точек по физическим формулам, или же определяется как остаточный член водного баланса. Точность его определения для мира или крупных его частей, следовательно, невелика.

Изменения запаса воды также не определяются с высокой точностью. Для глобального водного баланса важнейшими составляющими являются изменения объема океана и покровных ледников. Как мы уже видели выше, измеряемые изменения уровня воды океана не полностью отражают колебания его объема из-за комплекса гидрометеорологических, геотектонических и геоморфологических факторов, из которых только первый отражает изменения объема воды. Что касается ледниковых покровов, то пока даже не удастся надежно определить, увеличивается или уменьшается масса ледниковых покровов Гренландии и Антарктиды, не говоря уже о количественных оценках.

Задача более надежного определения компонентов водного баланса мира – одна из важнейших проблем гидрологии и геоэкологии. Есть основания надеяться, что проводящиеся исследования глобального гидрологического цикла в рамках международных программ исследований глобальных изменений принесут более точные результаты.

Влияние деятельности человека на компоненты мирового водного баланса пока затушевывается относительно невысокой точностью определения компонентов. Однако глобальные модели циркуляции климата показывают, что антропогенные изменения климата повысят интенсивность водообмена в глобальном гидрологическом цикле. Влияние изменения климата на гидрологическую ситуацию в отдельных регионах будет весьма значительным.

3.2. Воды суши и деятельность человека.

Основные функции вод суши

В природе вода находится в центре большинства взаимосвязей, в том числе между другими геосферами. В обществе вода – критический фактор многих экономических, общественных и политических проблем. В обобщенном виде можно сказать, что воды суши в экосфере выполняют три основные функции, важные с точки зрения геоэкологии:

1) Участника, зачастую ведущего и интегрирующего, в глобальных циклах вещества;

2) Индикатора состояния экосистем, в особенности бассейнов рек или озер;

3)Самого широко употребляемого природного ресурса.

Во многих случаях вода – ключевой фактор основных глобальных экологических проблем. Выше уже отмечалась исключительная роль воды как агента, переносящего растворенные, влекомые и взвешенные вещества. Поэтому она важнейший фактор в глобальных биогеохимических циклах углерода, азота, серы, фосфора и др. и в экзогенной части большого геологического цикла (или цикла эрозии-седиментации). Глобальный гидрологический цикл – это один из основных жизнеобеспечивающих механизмов экосферы, зависящий в то же время от изменения ее состояния.

Гидрологический цикл означает больше, чем водный цикл. Реки мира также приносят в океан около 22 млрд.т наносов и 3 млрд.т растворенных веществ. В пределах бассейнов происходит еще более значительное, не менее чем на порядок большее перемещение вещества, во многом благодаря водному фактору.

Многие острые геоэкологические проблемы связаны с водными проблемами. Ухудшение состояния антропогенно трансформированных естественных и сельскохозяйственных систем является или следствием изменившегося водного режима (часто в результате деятельности человека), или, наоборот, антропогенные изменения систем ведут к изменениям таких важных гидрологических характеристик как водоудерживающая способность почв, перехват осадков растительностью, инфильтрационная способность почв и др., с соответствующими изменениями гидрологического режима. Подобным образом, наводнения и засухи это больше чем избыток или дефицит воды. Их более частая повторяемость может быть результатом нарушения состояния речной системы.

Вода отличается особенностью интегрировать процессы, протекающие на водосборе. При этом речь идет о процессах на любом уровне, от просачивания капель воды в почву в верхней части водосбора до движения мощного потока крупной реки. В целом можно сказать, что вода находится в центре большинства взаимодействий в природе, играя в ландшафте роль, сходную с ролью крови в теле человека. И так же, как анализ крови дает представление о состоянии больного, так и химические и физические особенности природных вод являются объективным индикатором многих процессов, протекающих на водосборе.

Зональные природные процессы хорошо отражены в основных показателях гидрологического режима. Например, реки в зоне влажных тропических лесов многоводны, со слоем стока около 1200 мм, с высокой долей подземного стока (около 50%), постоянно высокой температурой воды (25-27°C). Природные воды этой зоны – ультрапресные (менее 100 мг/л растворенных веществ, и даже в отдельных случаях менее 10 мг/л), гидрокарбонатно-кремнеземного класса, с малой концентрацией взвешенных веществ (менее 50 г/л). В зоне степей, например, картина другая. В зоне степей сток невелик, слой стока порядка 50 мм в год. Водность рек резко изменяется по сезонам года. Сток преимущественно (на 80%) формируется водами, стекающими по поверхности водосбора. Воды пресные, но со значительным содержанием солей (до 1000 мг /л), гидрокарбонатно-кальциевые, мутность воды значительная (до 500 мг/л). Разумеется, эти средние данные носят исключительно иллюстративный характер.

При усилении деятельности человека в бассейне реки или озера природные

воды этого бассейна также соответствующим образом изменяются, что находит свое отражение в индикаторах геоэкологического состояния бассейна. Например, примерно за столетие содержание хлоридов в воде р. Рейн на границе Германии и Голландии увеличилось приблизительно на порядок, что указывает на весьма значительное увеличение антропогенного давления в бассейне.

3.3. Геоэкологические аспекты водного хозяйства. Водные ресурсы и водообеспеченность

Вода – наиболее широко используемый природный ресурс. Забор воды из всех источников мира составляет около 4000 км^3 в год. Объем других широко используемых природных ресурсов, таких как уголь или нефть, примерно на три порядка меньше. Громоздкость воды как ресурса приводит к необходимости использования его поблизости от местонахождения, или к большим трудностям и высокой стоимости передачи воды на значительные расстояния. Таким образом, водные ресурсы локальны.

Передача значительных объемов воды с континента на континент и даже на большие расстояния внутри континентов по ряду причин весьма затруднительна. Существуют интересные предложения по транспортировке воды на большие расстояния. К ним относятся, например, такие предложения как буксирование айсбергов из Антарктиды в страны Персидского залива. Технически такие проекты возможны, и они будут теоретически совершенствоваться и далее. Однако стоимость кубометра такой воды была и останется высокой даже по сравнению с более реальными, но также дорогими способами, например, с опреснением морской воды. Можно представить себе только один сценарий, оправдывающий транспортировку айсбергов: все источники воды мира станут настолько загрязнены, что Антарктида останется единственным надежным источником драгоценной питьевой воды требуемого качества. Остается надеяться, что такой сценарий не станет реальностью.

Управление водными ресурсами удобнее всего осуществлять для всего бассейна реки или озера или бассейна подземных вод. Однако политические и административные границы, как правило, не совпадают с водоразделами. Внутри стран это приводит к неудобной ситуации, когда водное хозяйство осуществляется по речным бассейнам, в то время как большая часть другой экономической деятельности привязана к административному делению.

На международном уровне это может приводить к конфликтам, связанным с использованием водных ресурсов. Около половины населения мира живет в не менее чем 220 международных речных и озерных бассейнах, причем более 25 бассейнов принадлежат четырем и более странам.

Наибольшие трудности в сотрудничестве между областями (штатами) или, тем более, странами, заключаются в том, что территории, расположенные выше по течению реки, находятся в преимущественном положении, поскольку они вольно или невольно могут влиять на водные ресурсы вниз по течению, не будучи заинтересованы ни в количестве, ни в качестве утекающей вниз воды. При этом нижележащим территориям предопределена пассивная роль, поскольку они не

имеют естественных рычагов управления ресурсами, приходящими с верхней части бассейна. Самым ярким примером является ситуация в бассейне Нила, где любые действия в верхнем или среднем течении, ведущие к сокращению стока реки, оказывают неблагоприятное и очень серьезное воздействие на экономику Египта, существование которого в течение всей истории и до сего дня зависит от режима Нила.

Подобным же образом, развитие орошения в бассейне Аральского моря привело к сокращению притока к Сырдарье и Амударье и, как следствие, к катастрофическому падению уровня Арала.

Комиссия ООН по вопросам права сформулировала принципы международного сотрудничества в области водных ресурсов. Они включают четыре межгосударственных обязательства:

1) Информировать соседние государства и консультироваться с ними, прежде чем предпринимать какие-либо действия, которые могут привести к изменениям состояния разделяемых водных ресурсов;

2) Регулярно обмениваться гидрологическими данными;

3) Избегать причинения ущерба другим пользователям водных ресурсов;

4) Распределять воду из общего водоисточника «разумно и справедливо».

Водные проблемы зачастую многокомпонентны. В процессе их использования возникают взаимосвязанные проблемы их дефицита, недостаточно приемлемого их качества, ущерба от наводнений и неблагоприятных изменений других компонентов окружающей среды. Водные ресурсы и их использование являются центральной проблемой развития аридных и семиаридных территорий, играя также очень важную роль во всех других, более богатых водой областях.

Стратегия решения водных проблем заключается в таком управлении бассейном, которое бы обеспечивало экономическое развитие без ухудшения водных и связанных с ними других природных ресурсов. Абсолютный верхний предел возобновимых водных ресурсов мира – это суммарное количество осадков, выпадающее на поверхность суши, что составляет около 120000 км^3 в год. По-видимому, безвозвратный забор даже 10% этой воды на хозяйственные нужды означал бы геоэкологическую катастрофу. Следующий, более реальный предел возобновимых водных ресурсов мира – это речной сток объемом примерно 40000 км^3 в год. Из этого количества, устойчивый речной сток, наиболее удобный для использования, составляет 12000 км^3 в год. Однако крупные реки мира в своих низовьях несут слишком много воды, больше, чем ее там возможно использовать. Поэтому, по М.И.Львовичу, доступный устойчивый речной сток составляет примерно 9000 км^3 в год, и это реальный объем возобновимых водных ресурсов мира, технически возможный для использования без строительства плотин. По-видимому, геоэкологический предел использования возобновимых водных ресурсов должен быть существенно ниже, чем 9000 км^3 , поскольку экосистемы суши и виды организмов, их составляющие, также нуждаются в воде.

К этому объему доступного устойчивого речного стока можно добавить ресурсы подземных вод, ледников и пресноводных озер. Водные ресурсы этих

объектов содержат как возобновимую, так и невозобновимую компоненты, в зависимости от интенсивности их использования: чем больше забор воды, тем больше доля используемой невозобновимой компоненты, и тем меньше становятся невосполняемые запасы.

Безвозвратное потребление воды в мире составляет сейчас около 4000 км^3 в год, при возобновимых ресурсах порядка 9000 км^3 в год. Соотношение между имеющимися ресурсами и потреблением выглядит на глобальном уровне пока вполне благоприятным, но на самом деле для многих районов это далеко не так, так как средние мировые величины маскируют имеющиеся различия между районами и скрывают дефицит водных ресурсов во многих местах мира.

Одним из показателей состояния водных и связанных с ними геоэкологических проблем в той или иной стране является количество водных ресурсов на каждого жителя. Для стран с преимущественно транзитным стоком (таких как Египет или Судан) или для крупных стран с разнообразными региональными условиями формирования стока (таких как Россия или Китай) этот показатель нерепрезентативен. Однако для всей совокупности стран мира он полезен для сравнительной оценки ситуации с водными ресурсами.

Водообеспеченность изменяется от страны к стране на несколько порядков (от $328000 \text{ м}^3/\text{чел.}$ в год для Габона до практически нуля в странах Персидского залива). Уровень 500 м^3 на человека в год и менее является чрезвычайно низким, даже пороговым для национального устойчивого развития. Примерно таким количеством водных ресурсов ($370 \text{ м}^3/\text{чел.}$) располагает Израиль, являя пример весьма эффективного использования водных ресурсов, в том числе на орошение. Уровень 1000 м^3 на человека обычно принимается в качестве критического, указывающего на то, что страна находится в состоянии острого дефицита водных ресурсов.

В странах, где водное хозяйство определяет всю экономику, таких как Египет, Сирия, Пакистан, уровень водопотребления составляет $1200\text{-}2200 \text{ м}^3/\text{чел.}$

В настоящее время 15 стран (из 145, по которым были данные) с населением 110 млн. чел. располагают менее чем 500 м^3 на человека. Весьма низкий уровень водных ресурсов ($500\text{-}1000 \text{ м}^3$ на чел.) характерен еще для 12 стран с населением 120 млн. чел. Для этих 27 стран дефицит водных ресурсов определяет существование их населения, это вопрос жизни и смерти и причина важнейших стратегических решений правительств. Еще 58 стран с населением 3,4 млрд. чел. живут в условиях малого количества водных ресурсов ($1000\text{-}5000 \text{ м}^3/\text{чел.}$). Так, в 1990 г. 85 стран с 70% населения мира стояли перед проблемами дефицита водных ресурсов (табл. 3.1). Это в основном развивающиеся страны, где недостаток водных ресурсов является важным, если не важнейшим, препятствием их социального и экономического развития.

Многие страны с ресурсами, превышающими 5000 куб.м /чел. , выглядят благополучными, но на самом деле средняя цифра часто скрывает серьезные региональные различия внутри стран. Россия – характерный пример такой ситуации, где малая обеспеченность водными ресурсами совпадает с наиболее населенными и экономически развитыми территориями, такими как центр и юг

Таблица 3.1

Число стран, различающихся по количеству водных ресурсов на душу населения (м^3 за год) в 1990 г. и в 2025 г.

Количество водных ресурсов, м^3 /чел. за год	Число стран этой категории в 1990 г.	Ожидаемое число стран этой категории в 2025 г.
Крайне малое (<500)	15	26
Очень малое (500-1000)	12	19
Малое (1000-5000)	58	51
Среднее(5000-10000)	12	10
Высокое (> 10000)	48	39

Другой показатель степени напряженности с обеспечением водными ресурсами – это доля используемой воды по отношению к имеющимся ресурсам.

Поскольку численность населения мира будет увеличиваться, а объем имеющихся водных ресурсов останется постоянным, ситуация дефицита водных ресурсов будет и далее ухудшаться, вызывая дальнейшее углубление противоречий, связанных с использованием водных ресурсов, как на международном, так и на национальном уровнях. Предстоящее изменение климата во многих случаях еще усилит конфликтные ситуации.

К 2025 г. уже 1,4 млрд. человек в 45 странах мира будут располагать менее чем 1000 м^3 на чел. за год. Около 3/4 населения мира приблизительно в 100 странах будет жить в условиях дефицита воды, или, иными словами, под угрозой экологической, экономической и политической неустойчивости. Если существующие в настоящее время способы ведения хозяйства не изменятся, будет продолжаться и ухудшение качества воды, что еще более осложнит ситуацию. Можно ожидать, что количество и глубина конфликтов, связанных с водными проблемами, еще более возрастут.

3.4. Управление водопотреблением и водохозяйственный баланс

Эффективное водное хозяйство – это умение уравновесить имеющиеся водные ресурсы территории и спрос на них, не допуская при этом ухудшения качества окружающей среды. Иными словами, это искусство соблюдать водохозяйственный баланс. Имеются два принципиально различных пути его достижения:

а) Можно увеличивать подачу воды, то есть увеличивать доступный объем возобновимых ресурсов, например, посредством сооружения плотин, перебросок воды из другого бассейна, опреснения соленых вод и др. Возможно, также отбирать невозобновимые ресурсы из запасов, аккумулированных в подземных водах, озерах, ледниках, но это путь, противоречащий принципам устойчивого развития, и на такие действия можно идти, только ясно осознавая последствия;

б) Можно более экономно использовать имеющиеся ресурсы, без их увеличения, то есть снижать спрос на воду.

Как правило, при традиционном водном хозяйстве потребность в воде постоянно возрастает, и баланс достигается системой мер, обеспечивающих увеличение подачи воды. Такие меры и возникающие при этом проблемы обсуждались в предшествующих двух разделах. Но баланс между спросом и предложением может быть достигнут также посредством регулирования спроса на воду. Здесь огромное поле деятельности, потому что водные ресурсы используются неэффективно практически во всех странах и во всех отраслях водного хозяйства. Кроме того, снижение водопотребления вызывает меньший ущерб окружающей среде. И, наконец, регулирование спроса это единственный путь замкнуть водный баланс, когда все ресурсы уже использованы и подача воды уже не может быть увеличена.

Главным пользователем воды в мире является ирригация, расходующая около 65% всей забираемой воды. В аридных районах этот показатель намного выше, достигая 98% в случае Египта. Как правило, эффективность орошения очень низкая. Средние цифры, приводимые в различных источниках, показывают, что только половина или даже четверть забираемой на орошение воды в конечном итоге достигает поливаемого растения на поле. Необходимо иметь в виду, что часть неиспользуемой воды пополняет запасы подземных вод или возвращается в водоисточник в виде так называемых возвратных вод. Повышение эффективности орошения может принести не меньший результат, чем строительство нового водохранилища. При этом стоимость таких мер будет ниже затрат на увеличение подачи воды, а неблагоприятные геоэкологические последствия будут несомненно меньше.

Доля промышленности в водопотреблении мира составляет около 25%. В странах с достаточным увлажнением, где интенсивное орошение не требуется, эта доля весьма высока. Например, для Англии, Германии и Франции она находится в пределах 71-87% от суммарного водопотребления. Количество потребляемой воды на единицу производимого промышленного продукта изменяется для одинаковых товаров более чем в 10 раз, в зависимости от типа применяемой технологии. Поэтому снижение спроса на воду в этом секторе водного хозяйства вполне реально.

Основная стратегия снижения водопотребления в промышленности – увеличение степени оборачиваемости воды в производственном цикле. Например, в США, по данным 1988 г., однажды забранная вода использовалась в среднем 3-4 раза, прежде чем она выводилась из производственного цикла, а в 2000 г. этот показатель увеличился до 17 раз, на фоне снижения общего объема используемой воды. Заметим, что в конечном итоге, после многих циклов использования в технологическом процессе, остается чрезвычайно загрязненная вода, и вопрос, что с ней делать, далеко не тривиален и не имеет однозначного ответа.

Городское население потребляет не более 10% всего объема забираемой воды, но это очень дорогая вода, потому что строительство и эксплуатация весьма сложных систем водоснабжения обходится весьма дорого. Несмотря на это, типичная величина потерь воды в городских сетях составляет 50%. В крупных городах развивающихся стран потери воды составляют:

Манила (Филиппины) – 55-65%;
Джакарта (Индонезия) – 50%;
Мехико (Мексика) – 50%;
Каир (Египет) – 47%;
Бангкок (Таиланд) – 32%.

В городах развитых стран ситуация в целом многим не лучше, в особенности в тех городах, где водопроводные сети закладывались еще в прошлом веке. Всемирный Банк считает, что если потери в городских сетях превышают 25%, то снижение потерь экономически более целесообразно, чем строительство дополнительных систем водоснабжения.

К потерям в сетях необходимо добавить потери из подтекающих кранов и др. Действия в этом направлении не очень популярны среди тех, кто управляет городским водным хозяйством, потому что это невидная работа, требующая постоянного внимания, дополнительных финансовых затрат и довольно высокой квалификации и дисциплины рабочих.

Значительной экономии воды в домашнем хозяйстве, до 50-70%, можно также добиться, применяя более эффективные краны, насадки в душе и др., при том же конечном результате. Использовать меньше воды в коммунальном хозяйстве совсем не означает быть более грязным. Численность населения древнего Рима была более миллиона человек. Городская система водоснабжения подавала около 1000 л воды на человека в сутки. Современные римляне используют меньше половины этого количества, но, по всей вероятности, уровень их личной гигиены не ниже, чем у их предков.

Таким образом, успешное водное хозяйство – это поддержание баланса между спросом и предложением, без ухудшения (по крайней мере) геоэкологического состояния территории. Необходимо сбалансировать также различные, часто конфликтные интересы и задачи различных общественных групп и секторов экономики. Например, для бассейна Волги труднейшая и ежегодно возникающая проблема заключается в нахождении оптимального режима работы каскада водохранилищ таким образом, чтобы были соблюдены интересы различных секторов экономики (гидроэнергетики, судоходства, рыбного хозяйства, орошения и пр.), при условии соблюдения установленной заранее приоритетности этих секторов. Неудивительно, что зачастую наилучшее, устраивающее всех решение не может быть достигнуто, и стороны должны идти на компромисс таким образом, что улучшение состояния по одному из критериев достигается за счет ухудшения другой альтернативы.

Водное хозяйство региона (бассейна) должно базироваться на многокритериальной и междисциплинарной основе. Необходимо комбинировать инженерные, экономические, экологические, юридические, социальные, политические действия, потому что ни одно из них, взятое в отдельности, не может обеспечить эффективные и долговременные решения водных проблем.

Экономика использования водных ресурсов требует большего внимания. Пока что вода во всем мире имеет низкую цену, а то и вовсе бесплатна, что ведет к неэффективному использованию водных ресурсов и, как следствие, к серьезным экологическим проблемам. Это делает водное хозяйство уязвимым,

или, иными словами, экологически и экономически неустойчивым. Подсчитано, например, что потребление воды тепловыми электростанциями США уменьшится в 50 раз, если цена на воду увеличится в 5 раз.

Строго говоря, все затраты, связанные с водным хозяйством, такие как стоимость сооружений и их эксплуатация, должны быть включены в цену, так же как и стоимость экологических последствий водного хозяйства, таких, например, как потеря рыбных ресурсов, засоление почв или загрязнение воды. Пока этого нет нигде в мире. Установление цены на воду, которая отражала бы истинные затраты, привело бы, вследствие важности и вездесущности воды как ресурса, к изменению всей системы мировых цен. Такой проект не может быть осуществлен в одной, отдельной стране.

3.5. Качество вод суши

Реки интегрируют многие природные процессы. В частности, реки в их естественном состоянии играют роль дренажных систем, собирающих с бассейна сток, вместе с переносимыми им растворенными, взвешенными и влекомыми веществами. Природные воды - всегда сложные растворы, обычно содержащие много химических веществ. Естественная концентрация растворенных веществ в речных водах обычно не превышает 1 г/л. Вода рек переносит взвешенные и влекомые наносы, также влияющие на качество воды. Естественные речные воды обычно бывают достаточно приемлемого качества для большинства потребителей и не требуют значительной обработки.

Фактически деятельность человека постепенно превращает реки из дренажных систем в сточные каналы, иногда с очень высоким уровнем загрязнения (свыше 100 ПДК). Пока в бассейне преобладают природные процессы, речной сток переносит естественные растворенные вещества. Но по мере того, как деятельность человека (промышленность, сельское хозяйство, строительство и др.) усиливает миграцию химических веществ, их концентрация в природных водах повышается, то есть ухудшается качество воды. При этом в природную среду, в том числе в природные воды, попадают вещества антропогенного происхождения, часто посторонние для данных природных условий, с неблагоприятными свойствами, в том числе токсичные. Общее количество загрязняющих веществ в речной воде достигает нескольких тысяч.

Главными источниками загрязнения природных вод являются предприятия черной и цветной металлургии, химической, нефтяной, газовой, угольной, целлюлозно-бумажной промышленности, сельское хозяйство (как земледелие, так и интенсивное животноводство), коммунальное хозяйство.

Величина сброса сточных вод в водоемы России в 1997 г. составила 59,3 км³. Из этого количества в реки ежегодно сбрасывается приблизительно 30,0 км³ загрязненных сточных вод, требующих как минимум 10-12-кратного разбавления, а для ряда веществ и разбавления в 50-200 раз. (Для сравнения, средняя величина речного стока России равна 4260 км³ в год.).

Основные показатели загрязнения природных вод следующие:

- *Растворенный кислород (чем выше его содержание, тем лучше качество*

воды);

- Показатель биохимического потребления кислорода (БПК). Чем выше показатель, тем больше в воде загрязняющих веществ, и, следовательно, тем хуже качество воды;

- Содержание в воде микроорганизмов. Их показателем служит содержание кишечной палочки (колититр);

- Содержание в воде аммония (NH_4), нитратов (NO_3), нитритов (NCh), нефти и нефтепродуктов, фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), тяжелых металлов.

Химические и физические параметры воды отражают ее состояние и являются предметом гидрологии как естественной науки. Параметры качества воды отражают требования, предъявляемые к ней различными потребителями. Поэтому качество воды – категория как естественная, так и общественная.

Так же как в случае с загрязнением воздуха, для России основное нормативное требование к качеству воды в водных объектах заключается в соблюдении установленных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК). Для того, чтобы гарантировать ожидаемое качество воды с содержанием загрязняющих веществ не выше ПДК, для предприятий устанавливается величина предельно допустимого сброса поллютантов (ПДС).

В России ПДК по разным показателям превышены на основном протяжении рек Волги, Дона, Терека, Урала, Оби, Енисея, Амура. При этом измерения концентрации загрязнителей производятся для списка веществ, состоящего только из десятка названий, тогда как промышленность сбрасывает в водоемы вместе со сточными водами сотни и тысячи различных веществ.

В Российской Федерации население в целом не обеспечено питьевой водой надлежащего качества вследствие неудовлетворительного состояния как источников воды (поверхностной и подземной), так и систем централизованного водоснабжения. Почти 30% исследуемых проб не отвечают гигиеническим требованиям по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. Речные воды России содержат штаммы холеры, тифа, дизентерии, вирусного гепатита и других болезней.

Загрязнение воды взаимосвязано с возникновением и распространением болезней. Около 80% всех заболеваний в Мире вызвано потреблением питьевой водой неудовлетворительного качества. В развивающихся странах 25 млн. чел. умирает каждый год вследствие воздействия патогенов и загрязненной питьевой воды. К 1990 г. более 1 миллиарда человек в мире не было обеспечено чистой питьевой водой и более 1,7 миллиарда не обеспечено канализацией.

Существуют две основные категории источников загрязнения водных объектов:

- 1) источники точечного загрязнения;
- 2) источники рассеянного загрязнения.

К первой категории относятся, например, сбросы промышленных предприятий и очистных сооружений коммунальных стоков. Ко второй категории относятся, например, загрязнения, связанные с сельским хозяйством, такие как загрязнения вод продуктами распада удобрений и пестицидов. Стратегии

управления точечным и рассеянным загрязнением различны. В первом случае необходимо иметь дело с каждым источником, в то время как при рассеянном загрязнении необходимо осуществлять стратегию управления всем речным бассейном, а точнее говоря, стратегию управления состоянием ландшафтов бассейна, в особенности антропогенно трансформированных.

В стратегиях по улучшению качества воды, как правило, начинают с точечного загрязнения, и по достижении определенных успехов затем обращаются к регулированию рассеянного загрязнения. В России пока основное внимание уделяется контролю точечного загрязнения.

Загрязняющие воду вещества и их индикаторы могут быть также разделены на несколько групп, вызывающих специфические проблемы качества воды в различных типах водных объектов и, соответственно, требующие различных стратегий их контроля:

- *Микробиологические индикаторы, связанные со здоровьем человека (концентрация кишечной палочки как индикатор количества патогенных бактерий и др.).*

- *Взвешенные вещества (общее содержание, мутность и прозрачность воды);*

- *Органические вещества. Индикаторы загрязнения: растворенный кислород, биохимическое и химическое потребление кислорода (БПК и ХПК), фосфаты, хлорофилл-А;*

- *Биогенные вещества (соединения азота и фосфора);*

- *Основные ионы (общее количество растворенных веществ, электропроводность, рН, кальций, магний, натрий, калий, хлориды, сульфаты, бикарбонаты, бор, фтор, жесткость воды);*

- *Неорганические микрозагрязнители (алюминий, мышьяк, бериллий, кадмий, хром, кобальт, медь, цианиды, сероводород, железо, свинец, литий, марганец, ртуть, молибден, никель, селен, ванадий, цинк).*

- *Органические микрозагрязнители (их много: полихлорированные бифенилы, бензапирен, пестициды и др.; они вредны даже в очень малых концентрациях; вследствие их малой концентрации их определение представляет большие трудности).*

Заражение патогенами – очень важный фактор высокой заболеваемости и смертности от желудочно-кишечных болезней. Оно находится в прямой зависимости от плотности населения и уровня его социально-экономического развития, и потому в большей степени характерно для развивающихся стран. В развитых странах вода в системах питьевого водоснабжения обрабатывается, в то время как в развивающихся странах обработка не всегда удовлетворительна, если она вообще производится. Даже в развитых странах загрязнение патогенами контролируется не полностью. В развивающихся странах оно широко распространено вниз по течению от городов и густонаселенных сельских территорий вследствие недостаточного развития канализации и систем очистки воды. В Индии, например, достаточно полная очистка сточных вод в конце 80-х годов XX века производилась только в 8 городах из 3119, и в 217 городах производилась частичная обработка. Река Ямуна, протекающая через Нью-Дели, получает

ежесуточно 0,2 млн. м³ совершенно необработанных сточных вод. В результате индекс патогенного загрязнения воды увеличивается в пределах города в 3200 раз, достигая 24 млн. коли-палочек на 100 мл воды. Высокий уровень загрязнения патогенами и органическими веществами отмечается в реке Ганг и в последние годы осуществляется специальная программа улучшения состояния этой великой реки Индии.

Органические вещества – самая большая группа загрязнителей, исторически появляющаяся обычно первой, в самом начале процесса загрязнения реки. Они попадают в воду в растворенном или взвешенном виде, главным образом со стоками канализации или с нерегулируемыми бытовыми стоками. В отдельных местах целлюлозно-бумажная и пищевая промышленность также вносят свой заметный вклад. Географическое распространение загрязнения органическими веществами в целом совпадает с распространением патогенного заражения.

При относительно небольшом уровне сбросов загрязняющих веществ по сравнению со стоком реки, принимающей загрязнения, загрязненная вода перемешивается с речной, и качество воды в реке, хотя и ухудшающееся, остается все же приемлемым. Обычный уровень разбавления – до 10-12 раз. При дальнейшем росте объема сточных вод разбавление уже не решает проблему.

Реки обладают значительной самоочищающей способностью благодаря растворенному в воде кислороду, количество которого постоянно пополняется из атмосферы вследствие турбулентного режима течения рек. Когда поступление органических веществ в реку начинает превышать ее самоочищающую способность, загрязнение воды прогрессивно возрастает. Для решения проблемы загрязнения воды органическими веществами и патогенами необходимо осуществлять комплекс мероприятий. Главную роль играет снижение объема поступающих с бассейна загрязнений и, с другой стороны, строительство очистных сооружений.

За последние два-три десятилетия, вследствие целенаправленной стратегии, загрязнение природных вод патогенами и органическими веществами в развитых странах уменьшилось. Увеличилась концентрация растворенного кислорода и снизилась величина БПК. Были затрачены значительные усилия по снижению притока сточных вод, и вложены значительные средства в строительство очистных сооружений и модернизацию существующих, причем они выполняют не только первую и вторую стадии очистки (механическую и биологическую соответственно), но и во многих случаях третью, химико-биологическую, очищающую сточные воды от соединений фосфора и азота.

В развивающихся странах, наоборот, загрязнение органическими веществами и заражение патогенами растут вследствие увеличения объема бытовых стоков при низком качестве или отсутствии систем очистки сточных вод. Для более чем 1,7 млрд. жителей развивающихся стран необходимо построить инженерные системы канализации. Поскольку содержание кислорода в воде обратно пропорционально ее температуре, климатические условия развивающихся стран также играют неблагоприятную роль в снижении самоочищающей способности рек. Несмотря на значительные успехи в строительстве систем

питьевого водоснабжения и канализации в развивающихся странах, расширение этих систем не поспевает за ростом населения, и в особенности за увеличением численности населения крупных городов, и общий уровень загрязнения воды продолжает увеличиваться, превращая эту геоэкологическую проблему в одну из важнейших.

Взвешенные вещества в речных водах это преимущественно тонкие частицы почвы. Концентрация взвешенных наносов является показателем степени водной эрозии почвы и потому – состояния бассейна. Сельское хозяйство играет значительную роль в этом процессе. В целом, при прочих равных условиях, чем выше площадь пахотных земель, тем больше сток наносов.

Общий сток наносов по рекам мира оценивается приблизительно в 20 млрд. т в год. Перемещение наносов в пределах речных бассейнов, по крайней мере, в пять раз больше, примерно 100 млрд. т. Деятельность человека значительно увеличивает сток наносов, во многом благодаря нарушению естественного состояния поверхности почв в бассейне реки. Антропогенно увеличивающийся сток наносов приводит к ухудшению условий судоходства на реках, заилению водохранилищ и оросительных систем. Имеются расчеты, указывающие, что в США экономические потери от эрозии почвы меньше, чем ущерб от наносов, переносимых реками.

Тонкие частицы почвы, переносимые в виде наносов, обычно адсорбируют на своей поверхности соединения фосфора. Это тот самый ил, который р. Нил приносила на поля каждое половодье, поддерживая плодородие почв Египта в течение тысячелетий. После сооружения плотин на реках почти все наносы аккумулируются в водохранилищах, вместе с адсорбированным фосфором. Это ведет к снижению, как плодородия почв, так и рыбной продуктивности в нижних бьефах плотин. Мероприятия по снижению эрозии почвы в бассейнах рек в то же время управляют перемещением фосфора в бассейне. Мы снова видим высокую степень сложности взаимосвязей в экосфере и ведущую роль воды в управлении территориальными системами.

Принято, что природные воды находятся в состоянии асидификации, если показатель их кислотности (рН) равен или меньше 5,0. В Швеции насчитывается 85000 озер. Из них 4000 рассматриваются как серьезно асидифицированные, и 18000 бывают подкисленными в некоторые критические периоды, в особенности во время снеготаяния. В 4500 озерах почти нет рыбы, а 1800 озер столь асидифицированы, что стали почти безжизненными. В южной Норвегии тысячи озер асидифицированы, из них 1750 потеряли рыбу. В Финляндии асидифицированы 500 озер из 8000. В Швеции рН воды озер уменьшился до 6,0 в 40-х годах и до уровня менее 5,0 в 70-х годах XX века, то есть кислотность выросла более чем в 10 раз, и с тех пор рН практически не изменяется. Имеется много указаний на асидификацию озер в Канаде, США, Дании, западной и северной Великобритании, Германии, Нидерландах, Австрии, Швейцарии.

Многие процессы в экосфере определяются кислотно-щелочными реакциями, то есть зависят от величины рН. Все биологические процессы в водоемах, такие как рост водорослей, распад микроорганизмов, нитрификация и денитрификация, отличаются своей оптимальной величиной рН, обычно в преде-

лах 6-8. Изменения флоры и фауны в водных экосистемах – важный индикатор асидификации. В озерах восточной Канады ракообразные, насекомые, некоторые водоросли и зоопланктон исчезают уже при $pH = 6,0$. В связи с высокой токсичностью для рыб иона алюминия, весьма мобильного при $pH < 5,5$ и поэтому появляющегося в воде озер, количество видов рыб и их численность сокращается. Рыбные популяции исчезают при уменьшении pH до 5,0. При $pH < 5$ репродукция земноводных ограничивается. Подобная картина характерна и для озер Скандинавии.

Асидификацией озер можно в определенной мере управлять. Общая цель заключается в уменьшении кислотности воды до уровня $pH > 5,0$. Существуют два основных подхода:

- а) снижение выпадения кислотных осадков на озеро и весь его бассейн;*
- б) непосредственное воздействие на воду, главным образом путем ее известкования.*

Воздействие на воду, как озер, так и их притоков достигается посредством внесения известняка. Стоимость его в Скандинавии составляет примерно 10-25 долларов США за тонну, включая стоимость затрат по внесению вещества. Около четвертой части площади Швеции, или около 118000 кв. км, нуждаются в известковании. Стоимость таких работ составляла бы более 20 млн. долларов в год. Известкование в Швеции проводится примерно на 3000 озер. Одна из важных проблем при этом – необходимость учитывать накопление тяжелых металлов в озере (кадмия, никеля, ртути, хрома, меди, цинка), поскольку известняк содержит их в определенных концентрациях. После известкования химическое состояние воды озера быстро улучшается, и реакция становится близкой к нейтральной. Биологическое восстановление происходит медленно, а популяция рыб полностью не восстанавливается даже в течение пяти лет после известкования. Для поддержания озер в удовлетворительном состоянии известкование необходимо периодически повторять.

Эвтрофикация (от греч. трофё – питание) означает усиление биологической продуктивности водоемов вследствие накопления в воде биогенных элементов. Избыточное поступление биогенных веществ, то есть соединений фосфора и азота в озера, водохранилища и устья рек, а также в морские прибрежные воды, приводит к взрывному росту водных растений, в особенности микроскопических водорослей, а также и макрофитов. Происходит периодическое бурное развитие («цветение») водорослей, которое может охватывать крупные по площади водохранилища, такие как водохранилища Волжского и Днепровского каскадов. После цветения микроскопические водоросли отмирают, зачастую отбирая из воды весь растворенный кислород для окисления и декомпозиции этой биомассы. Качество воды ухудшается как во время цветения, так и во время деструкции водорослей.

Эвтрофикация приводит к ряду неблагоприятных экономических последствий: ухудшению качества воды, снижению рекреационной ценности озера, снижению рыбной популяции, блокированию водосбросов, каналов и даже навигационных путей.

Эвтрофикация, этот медленно развивающийся естественный процесс, во

многих местах сильно ускоряется в результате деятельности человека, становясь, таким образом, процессом экологической деградации. Эвтрофикация это также и проявление серьезных антропогенных изменений глобальных биогеохимических циклов фосфора и азота. Главными источниками поступления азота и фосфора являются сельское хозяйство (как полеводство, так и животноводство) и бытовые стоки. В большинстве случаев основной причиной эвтрофикации является увеличение нагрузки соединений фосфора, но иногда ведущую роль играет азот. Управление эвтрофикацией обычно направлено на снижение фосфорной нагрузки. Бассейн озера рассматривается как единое целое, и действия основаны на тщательном анализе источников фосфора, затрат на его удаление или снижение нагрузки, социальных или политических обстоятельств.

Проблема антропогенной эвтрофикации водоемов и прибрежных зон морей возникла в развитых странах 20-30 лет тому назад. Сейчас появляются признаки серьезности проблемы эвтрофикации во многих развивающихся странах мира, например, в Бразилии, Филиппинах, Китае, Марокко и др. Нет сомнения, что этот процесс, основанный на интенсификации глобальных биогеохимических циклов биогенных элементов будет расширяться и усиливаться.

Важнейший источник *нитратов* в природных водах и источниках водоснабжения – сельскохозяйственные удобрения. Нитраты отличаются высокой растворимостью, и потому значительная их часть (не менее 15% от исходного количества) уходит в водные объекты, прежде всего в подземные воды. Чем выше интенсивность сельского хозяйства и продолжительнее история применения удобрений, тем больше нитратное загрязнение. Во многих странах Западной Европы (Германия, Чехия, Дания, Франция и др.) примерно половина скважин и колодцев содержит воду, непригодную для употребления из-за повышенного содержания нитратов. Высокий уровень концентрации нитратов отмечен и в других местах, в том числе в развивающихся странах, где главными источниками загрязнения могут быть области высокой плотности населения, не охваченные инженерными системами канализации. Находящиеся в избыточной концентрации в питьевой воде, нитраты могут вызвать проблемы со здоровьем, в особенности болезнь крови у детей и риск рака у взрослых. Установленная Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) норма содержания нитратов в питьевой воде – 11 мг/л в виде NO_3 .

Проникновение нитратов в подземные воды, как и вообще загрязнение подземных вод, – серьезная проблема, потому, что скорости движения подземных вод несравнимо меньше поверхностных, и раз проникнув в гидрогеологическую формацию, загрязненная вода может оставаться там весьма продолжительное время, даже если поступавшее с поверхности загрязнение приостановлено. Когда загрязнитель уже находится в зоне аэрации и движется книзу, мало, что можно сделать для исправления положения.

Регулирование поступления нитратов с поверхности представляет собой типичную стратегическую задачу управления рассеянным загрязнением.

Минерализация воды означает содержание в ней растворенных веществ. Усиление деятельности человека приводит к росту содержания в воде основных ионов, встречающихся в природе (хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов,

кальция, натрия, калия, – в зависимости от климатических условий). В особенности повышается минерализация вод вследствие развития орошения в бассейнах рек аридных районов, где возвратные воды приносят в реки много веществ, выщелоченных из почвенных горизонтов. В низовьях р. Сырдарьи, например, за последние 30 лет минерализация увеличилась от менее чем 1 г/л до почти 3 г/л. Подобная картина характерна также и для рек Амударья и Колорадо. В соответствии с соглашением между Мексикой и США, северный сосед должен подавать в Мексику по р. Колорадо воду не только согласованного объема, но и требуемого качества. Для этого на границе построена опреснительная установка, снижающая минерализацию воды до необходимого уровня.

Тяжелые металлы и мышьяк – серьезная проблема качества воды многих водных объектов мира. Из почти 100 химических элементов, обнаруженных в земной коре, в состав живого вещества входят, в заметной концентрации, только 22 наиболее легких, находящихся в верхней части таблицы Менделеева кверху от кальция. В промышленности используются также тяжелые элементы, чуждые организму и потому часто токсичные, такие как кадмий, свинец, ртуть, цинк, хром, медь, и др. Вместе со сточными водами они попадают в источники водоснабжения.

Тяжелые металлы могут находиться в небольших (но весьма опасных) концентрациях в обработанных (но полностью не очищенных!) сточных водах или в более концентрированном виде на свалках опасных отходов. Многие коммунальные очистные сооружения также получают промышленные стоки, содержащие тяжелые металлы.

Горнодобывающая промышленность и цветная металлургия – другой источник загрязнения воды того же рода, в особенности в развивающихся странах. Аллювиальные отложения также могут содержать значительное количество тяжелых металлов. Например, в донных отложениях рукава Невы, Екатериновки, накопился свинец в такой концентрации, что она в принципе экономически выгодна для его добычи.

Основная стратегия управления для тяжелых металлов заключается в управлении технологическими процессами. Развитые страны добились в этом отношении значительных успехов. В Голландии сбросы ртути, кадмия, хрома, свинца и цинка в поверхностные воды и в системы канализации были сокращены за 15 лет (1975-1990 гг.) в 6-12 раз. Более жесткие стандарты на сбросы соединений тяжелых металлов и других загрязнителей привели ко многим случаям незаконного транспорта опасных промышленных отходов из развитых в развивающиеся страны. В конечном итоге это привело к заключению Базельской конвенции (1988 г.) по трансграничной перевозке опасных отходов.

В настоящее время в производстве и использовании находятся около 100000 химических, преимущественно органических веществ. Попадание в окружающую среду части этих веществ в малых концентрациях практически неизбежно. Ухудшение качества воды вследствие *органических микрозагрязнителей* связано со стоками таких секторов промышленности как производство синтетических веществ и пестицидов, черная металлургия, нефтеперегонная, целлюлозно-бумажная и текстильная промышленности, добыча угля и др.

Концентрация органических загрязнителей в природных водах обычно ниже 1000 нанограмм на литр, или 1 часть на миллиард. Столь малая концентрация требует очень высокой, часто недостижимой точности измерений наличия и концентрации этих веществ в воде. Результаты измерений зачастую несравнимы и ненадежны. В то же время измерения этих поллютантов необходимы вследствие их крайне высокой токсичности. Один грамм полихлорированных бифенилов (ПХБ) (диоксин и др.) делает непригодным для жизни объем воды около 1 млн. м³. Широко известный ДЦТ принадлежит к тому же классу загрязнителей. Оба класса, ПХБ и ДЦТ, относятся к хлорорганическим соединениям. Они отличаются долгой продолжительностью нахождения в окружающей среде, передаются по пищевым цепям, накапливаясь в отдельных их звеньях, и, в частности, обладают способностью подавлять иммунные системы организма.

Глобальная картина географического распределения загрязнения воды органическими микрозагрязнителями пока не ясна. Можно сказать, что они почти повсюду, с более высокой концентрацией в промышленных районах и в сельских областях с неконтролируемым употреблением пестицидов.

Стремление некоторых стран к экономическому развитию любой ценой приводит к ухудшению состояния окружающей среды, в том числе к снижению качества воды. Мы уже указывали, что химические и физические свойства воды существуют в природе независимо от общества, тогда как стандарты качества воды устанавливаются правительствами с учетом социально-экономических, технологических, естественных, культурных и других аспектов. Во многих странах стандарты качества воды основаны на рекомендациях международных организаций, например, на стандартах, разработанных ВОЗ.

Стандарты качества воды различаются в зависимости от целей использования воды: питьевой воды, воды для домашнего хозяйства, рыбного хозяйства, рекреации, орошения, промышленности и пр. Естественно, что требования к питьевой воде и воде для рыбного хозяйства наивысшие, для рыбного хозяйства даже выше, потому что питьевая вода может быть обработана после ее забора из источника.

Стандарты качества воды - важный инструмент управления состоянием окружающей среды. Предприятия могут платить штрафы, если сбросы воды не соответствуют стандартам, или налоги, пропорциональные степени вклада в загрязнение воды. Эти меры помогают в решении проблем качества воды в развитых странах. Однако по ряду разнообразных причин (недостаток необходимого оборудования для измерений, отсутствие или несоблюдение соответствующих законов и пр.) они не действенны в большинстве развивающихся стран и стран с переходной экономикой.

Западные страны добились значительных успехов в управлении точечными источниками загрязнения, хотя и в этих странах есть большие возможности для улучшения качества воды. В быстро развивающихся странах, таких как Бразилия, Китай, Индия, Мексика, Индонезия, Таиланд, Малайзия и др., вследствие фактически невысокой приоритетности проблем экологии качество природных вод ухудшается. В этой категории стран лишь немногие имеют эффек-

тивную систему законов, правил и структур, обеспечивающих их выполнение.

Наряду с «обычным» загрязнением воды, увеличивается число случаев катастрофических ситуаций, когда вследствие технологической аварии в реку, озеро или подземные воды попадает значительный объем высокотоксичных вод, наносящих серьезный и долговременный ущерб. Такие катастрофы случаются и на реках России.

Штрафы, налоги и другие меры экономического характера мало успешны при управлении рассеянным загрязнением. В таких случаях необходимо обратить внимание на технологию сельскохозяйственных работ, таких как вспашка, внесение минеральных и органических удобрений, методы орошения и т.д. Управление неканализованными стоками сельских поселений и малых городов также относится к этой категории.

Управление качеством воды на уровне речного (озерного) бассейна или гидрогеологической формации – чрезвычайно сложная задача системного характера, которая должна осуществляться как часть стратегии социального, экономического и экологического развития бассейна. Тогда в ней должно найтись место для управления как точечным, так и рассеянным загрязнением, равно как и для решения конкретных проблем качества воды.

3.6. Мировой океан. Влияние деятельности человека. Основные геоэкологические особенности океанов и морей

Главная особенность Мирового океана – его огромные, подавляющие размеры. Широко известно избитое, но, тем не менее, верное замечание о том, что наша планета должна бы называться не Земля, а Океан. В самом деле, Мировой океан занимает 361 млн. км³, или 71% всей поверхности планеты. Важнейшее глобальное следствие такого соотношения суши и моря – в его влиянии на водный и тепловой баланс Земли. Около 10% солнечной радиации, поглощенной поверхностью океана, расходуется на нагревание воды и турбулентный обмен теплом между поверхностными слоями воды и нижними слоями атмосферы, остальные же 90% затрачиваются на испарение. Таким образом, испарение с поверхности океана является как главным источником воды в глобальном гидрологическом цикле, так и, вследствие высокой скрытой теплоты испарения воды, важным компонентом глобального теплового баланса.

Масса океана составляет 94% массы гидросферы. Мировой океан – важнейший регулятор потоков в глобальном гидрологическом цикле: его объем велик по сравнению с любой составляющей цикла, средняя продолжительность обмена воды в океане весьма значительна, составляя 3000 лет.

Поверхностная зона океана (0-200 м) обладает весьма значительной теплоемкостью и наибольшей среди геосфер тепловой инерцией. Она играет важнейшую роль в формировании текущего климата планеты, его пространственного распределения и изменчивости во времени. Воздействие ветра на верхний слой воды определяет основные черты океанической циркуляции в поверхностной зоне. Циркуляция океана обеспечивает глобальное перераспределение энергии из экваториальных зон к полюсам. Поверхностная зона океана – важ-

нейший компонент климатической системы, принимающий активное участие в формировании среднего годового климата, его изменений от года к году, а также и его колебаний в масштабе десятилетий и столетий.

Внешние воздействия на океан осуществляются почти исключительно посредством воздействия на него атмосферы, благодаря потокам тепла, пресной воды и количества движения у поверхности океана. Таким образом, эволюция климата и эволюция океана взаимосвязаны.

Глубокие зоны океана в гораздо меньшей степени, чем поверхностные зоны, подчиняются закону географической зональности, а чаще и вовсе не подчиняются. Основные глубинные и придонные потоки воды формируются в полярных областях и направлены вначале к противоположным полюсам. Большее или меньшее их участие в природных процессах у поверхности океана и изменение степени этого участия – важнейший фактор изменения основных черт экосферы.

Глубинная (2000-4000 м) и придонная (< 4000 м) зоны Мирового океана составляют 64% всего его объема. Температура воды в этих зонах от 3°C и менее. Средняя температура всей массы Мирового океана всего лишь около 4°C благодаря холодным глубинной и придонной толще. Вертикальная циркуляция океанических вод под влиянием разности плотности воды вследствие различий в ее температуре и солености вызывает перемещение вод с поверхности в глубинные слои, где она может оказаться изолированной от атмосферных воздействий, сохраняя теплозапас в течение тысячелетий и более. Высвобождение или, наоборот, накопление такого теплозапаса может оказаться решающим в долговременных изменениях климата.

Низкая температура Мирового океана и его огромная тепловая инерция играют важнейшую палеогеографическую роль. Глубинные слои это не только долгосрочный теплорегулятор системы Земля. Усиление или ослабление теплообмена между глубинными слоями океана и его поверхностью играет, по видимому, решающую роль в глубоких и долгосрочных преобразованиях климата Земли и, соответственно, в изменениях ее ландшафтов. При этом изменения теплообмена глубинных масс океана с поверхностными, а также и распределение поверхностных течений могут изменяться в течение десятков лет, то есть чрезвычайно быстро, принимая во внимание размеры Мирового океана, что может привести к столь же быстрому изменению природной обстановки.

Мировой океан это также и огромный аккумулятор веществ, содержащий их в растворенном виде в количестве около $50 \cdot 10^{15}$ т. Соленость воды изменяется в пространстве, но ее химический состав остается постоянным. Ежегодный приток солей в океан примерно в 10^7 раз меньше их содержания в океане. Это обстоятельство играет значительную роль в стабилизации биогеохимических циклов и экосферы в целом.

Океан содержит около $4 \cdot 10^{12}$ т углерода в растворе, в виде взвесей и в биологических формах. На суше, в живых организмах, почвах и распадающемся органическом веществе, углерода примерно в 20 раз меньше. Физико-химические условия в океане и взаимодействие с ними морской биоты определяют реакцию океана на изменение концентрации углекислого газа в ат-

мосфере. Углекислый газ из атмосферы растворяется в воде или поглощается из нее планктоном в процессе образования первичной продукции (фотосинтеза). Этот процесс нуждается в солнечном свете, углекислом газе в воде и растворенных биогенных веществах (соединениях азота, фосфора и других химических элементов). Лимитирующим фактором обычно бывают биогенные вещества.

Первичная продукция образуется в верхних, хорошо освещенных слоях воды, куда биогены поступают или из планктона, отмирающего на тех же глубинах, или же с суши и атмосферы. При отмирании планктона содержащие углерод остатки опускаются в холодные глубинные слои океана и на дно. В конце концов, этот углерод на значительной глубине превращается бактериями в растворимую неорганическую форму, а малая его часть отлагается в виде донных осадков.

Этот процесс, иногда называемый «биологический насос», чрезвычайно сложен. Он уменьшает концентрацию углекислого газа в верхнем слое океана, а также и в атмосфере, и увеличивает общее содержание углерода в глубинной и придонной зонах океана. Биогеохимические процессы, связанные с поглощением углекислого газа, происходят преимущественно в поверхностной зоне океана, тогда как глубинная и придонная зоны играют важнейшую роль в долгосрочной аккумуляции углерода. Процесс интенсивно изучается в настоящее время, но пока понят недостаточно.

3.7. Деятельность человека, влияющая на состояние океанов и морей

Деятельность человека, вызывающая изменение глобального климата, должна влиять как на состояние океанического звена гидросферы, так и на его взаимосвязи с другими геосферами. Однако, благодаря очень большой консервативности Мирового океана, можно надеяться, что его антропогенные изменения останутся незначительными в течение всего периода перехода к состоянию устойчивого развития. Эта общая, в целом оптимистическая оценка не исключает катастрофических антропогенных ситуаций на отдельных акваториях или касающихся специфических вопросов.

Хозяйственная деятельность человека в Мировом океане разнообразна. Основная часть громоздких грузов, включая нефть, перевозится морем. Мировой океан – источник рыбных и других биологических ресурсов. Это также и источник минерального сырья, пока еще мало используемый. Океан также поглощает и преобразует продукты деятельности человека. По мере роста антропогенного давления эта последняя функция становится все более важной.

Как правило, чем ближе к побережьям, тем больше антропогенная нагрузка. Внутренние моря и заливы отличаются большей антропогенной нагрузкой по сравнению с открытым океаном, причем чем больше степень закрытости водоема, то есть чем меньше водообмен с океаном, тем, при прочих равных условиях, выше нагрузка. Наконец, прибрежные зоны отличаются наивысшим антропогенным давлением вследствие активного рыболовства с переработкой

улова, функционирования крупных и мелких портовых сооружений, повышенной плотности судоходства, транспортных связей с внутриконтинентальными районами, развитой промышленности и энергетики зачастую на привозном сырье и, наконец, многочисленного и быстро растущего населения.

Приоритеты в решении различных морских геоэкологических вопросов определяются, как правило, в зависимости от степени антропогенного давления. Поэтому сложность проблем и интенсивность геоэкологических процессов, в целом, увеличивается по направлению от открытого океана (моря) к побережьям.

Деятельность в бассейнах рек, приводящая к изменениям гидрологического режима морей. Деятельность человека в бассейнах рек (расширение площади пашни, строительство оросительных систем, вырубка лесов, применение удобрений и пестицидов, разнообразное строительство и др.) влияет на гидрологический режим рек, а через него и на режим морей, в особенности замкнутых.

В начале XX века, вследствие расширения земледелия, антропогенная доля потока наносов с суши в море была больше естественной в глобальном или континентальном масштабе. В настоящее время плотины на реках и ирригационные системы, построенные преимущественно во второй половине этого столетия, перехватывают и значительно снижают сток наносов и адсорбированных на них биогенных веществ, в особенности соединений фосфора.

Антропогенный поток растворенных в воде биогенов с суши в прибрежные зоны морей равен, а иногда и намного больше естественного потока. Это одно из проявлений интенсификации глобального биогеохимического цикла биогенных элементов.

Речной сток в моря также, в целом, несколько ниже вследствие увеличившихся затрат воды на испарение, главным образом, из-за развивающегося орошения. Снижение стока рек приводит к росту солености морских вод в замкнутых морях и заливах, таких как Черное и Азовское моря или залив Сан-Франциско.

Использование земель в береговой полосе. Чем ближе к границе раздела между водой океана и сушей, тем обычно больше плотность использования земли, и, соответственно, выше деградация земель береговой полосы. В этой полосе острее всего также и конкуренция в использовании земли между жилыми кварталами, портовыми и промышленными сооружениями. Главная область загрязнения – порты, куда загрязненная вода попадает с судов, стекает с городских территорий, как жилых, так и промышленных, поступает вместе с наносами рек. Зачастую акватории портов хуже промываются течениями, где и создается устойчивая зона загрязнения.

Рекреация – серьезнейший конкурент в использовании земель береговой полосы. Морские побережья – основное место отдыха, привлекающее около половины всех рекреантов мира, и к 2025 г. прогнозируется их увеличение вдвое. Только побережья Средиземного моря ежегодно посещают свыше 110 млн. туристов. Приток масс отдыхающих в береговую полосу неизбежно вызывает ее загрязнение и деградацию, если только не принимаются специальные меры. Для удовлетворительного решения проблемы использования береговой

полосы необходим интегрированный подход к планированию ее развития, учитывающий все основные аспекты проблемы.

Сброс в море загрязненных вод побережья. Как и в случае вод суши, существуют два основных механизма загрязнения вод: точечное и рассеянное. Основные загрязнители: патогенные микроорганизмы, органические вещества, соединения биогенных элементов, синтетические органические вещества, тяжелые металлы, нефтепродукты, загрязненные взвешенные наносы рек. Иногда заметную роль играет и тепловое загрязнение воды. Основные последствия загрязнения – инфекционные болезни, эвтрофикация прибрежных вод и дефицит кислорода, токсическое воздействие различных химических веществ на людей и природу.

Сброс в море загрязненных наносов. Порты, в особенности расположенные в устьях рек, нуждаются в проведении постоянных землечерпательных работ с перемещением большого количества наносов. Чистые наносы, хотя и вызывают необходимость землечерпания, особого экологического вреда не приносят. Однако часть землечерпательного материала (по некоторым оценкам, около 10%) загрязнена тяжелыми металлами, нефтепродуктами, биогенными и хлорорганическими соединениями. Проток дельты Невы, Екатериновка, содержит около 40 кг свинца, на тонну накопленного на дне песка и ила. На морском крае одного из основных рукавов дельты Рейна, проходящего сквозь крупнейший в мире порт города Роттердама (Нидерланды), намыт искусственный остров из загрязненных наносов. Остров непригоден для обитания, но может быть использован для производственных целей, например, складов.

Загрязненными наносами можно в определенной степени управлять: сбрасывать на край шельфа, с тем, чтобы они затем перемещались благодаря силам гравитации в более глубокую зону материкового склона; покрывать загрязненный материал чистым; аккумулировать наносы в специальных зонах ограниченного доступа и др.

Специальной проблемой является *сброс промышленных отходов и отстоя очистных сооружений*. Эти вещества могут быть чрезвычайно токсичными. Такие сбросы в море без обработки нельзя квалифицировать иначе, как варварство.

Особая проблема – *распространение пластикового мусора* на поверхности морей и в полосе прилива и прибоя. Даже в открытом океане его встречается много. Это брошенные и потерянные сети, поплавки, упаковка товаров, бутылки и пр. Такой мусор практически не разлагается и остается на поверхности воды или на пляжах очень долгое время. Некоторые морские животные и птицы заглатывают пластиковый мусор, что приводит к неблагоприятным последствиям и даже их гибели.

Перевозка опасных веществ – важный фактор загрязнения морей. В особенности это относится к перевозке нефти и нефтепродуктов. Судоходство обеспечивает примерно половину антропогенного поступления нефти в Мировой океан. Карты загрязнения океана нефтью и основных морских линий во многом совпадают. Сбросы загрязненных веществ с судов полностью запрещены в закрытых морях, таких как Средиземное, Черное, Балтийское, Красное,

Персидский залив, Аденский залив и др. Во многих местах запрещена промывка танкеров. Требования к еще более жесткому контролю сбросов с судов постоянно усиливаются.

Очень крупные экологические катастрофы связаны с выливанием нефти из танкеров в результате кораблекрушений. Вероятно, крупнейшей катастрофой такого типа был сброс в океан у берегов Франции 220 тыс. т нефти из трюмов затонувшего танкера «Amoco Cadiz» (1978 г.). В 1989 г. танкер «Exxon Valdez» сбил с курса и получил пробоину в заливе Принца Уиллиама на Аляске. Вылилось около 39 тыс. т нефти, что привело к загрязнению 550 км побережья в условиях, где самоочищение происходит чрезвычайно медленно вследствие низкой температуры воды. В 1985 г. судно «Ариадна» село на камни у входа в порт Могадишо (Сомали). Судно специализировалось на перевозке опасных токсических отходов, и в момент аварии у него на борту было 105 различных химических веществ. Вследствие крайней опасности для состояния моря, экспертами ЮНЕП был разработан план постепенной разгрузки судна, которая затем продолжалась 8 месяцев.

Для борьбы с загрязнением моря или его части необходимо действовать на основе долгосрочной комплексной программы действий. Основная концепция стратегии контроля загрязнения заключается в том, чтобы сбросы не превышали естественную поглотительную способность защищаемой части моря. Устанавливаются желаемые цели состояния морской (и береговой) среды, и, соответственно, допустимые уровни сбросов. Простейший и уже не эффективный способ управления качеством морской воды – сброс загрязнений в море в надежде на его самоочищающую способность. Иногда строятся глубоководные сбросы, отнесенные весьма далеко от берега. Однако, как и в случае с водами суши и атмосферным воздухом, разбавление – не эффективное средство борьбы с загрязнением прибрежных зон морей.

Для точечных источников основной путь – перестройка технологии производства таким образом, чтобы сократить объем и суммарную токсичность сбросов. Проблема может решаться и менее эффективным способом, посредством очистных сооружений, устанавливаемых в заключение технологического процесса.

Управление рассеянным загрязнением значительно сложнее. Оно требует понимания путей распространения поллютантов и соответствующего управления территориями и акваториями прибрежной зоны.

Значительными загрязнителями морей выступают реки, что расширяет поле деятельности по регулированию состояния морей, включая целиком речные бассейны.

Приблизительная, с округлением до 10%, оценка доли вклада основных источников загрязнения Мирового океана и его компонентов следующая:

- сток загрязнений с суши (как по рекам, так и в виде рассеянного стока) – 40%;
- выпадения из атмосферы – менее 40%;
- источники на море (судоходство, добыча нефти и др.) – более 20%.

Принципиальное отличие морского загрязнения от речного в том, что пер-

вое может перемещаться в различных направлениях в пределах моря. Это объективно побуждает страны, расположенные у одного и того же моря, к международному сотрудничеству для сохранения и улучшения состояния моря. Типичная философия незаинтересованности в последствиях своей деятельности у стран, расположенных выше по течению реки, в применении к морской ситуации не действует.

В настоящее время существуют международные соглашения по отдельным морям, регулирующие совместные действия по борьбе с загрязнением, предотвращению и ликвидации экологических катастроф, по организации совместных наблюдений за качеством воды, по охраняемым акваториям и территориям и другим разнообразным вопросам, требующим совместных согласованных действий. К ним, в частности, относятся соглашения по Балтийскому, Средиземному, Северному, Карибскому, Черному и другим морям и морским акваториям.

Помимо региональных, существуют и другие международные соглашения, регулирующие различные геоэкологические проблемы морей и океанов. Соглашение по морскому праву (Law of the Sea) рассматривает многие вопросы. В том числе для прибрежных стран устанавливается Исключительная экономическая зона (Exclusive Economic Zone, EEZ) шириной 200 миль от берега, в которой за страной-хозяйкой побережья остается право на исключительное использование и контроль морских ресурсов. Существует также Лондонская конвенция по предотвращению загрязнения моря с судов и конкретные протоколы к ней. Имеется ряд конвенций по охране морских млекопитающих и многие другие международные соглашения, касающиеся управления состоянием морей и океанов.

Использование небиологических морских ресурсов. Запасы нефти на дне морей составляют около половины ее запасов на земном шаре. К началу 90-х годов XX века площадь, перспективная на нефть и газ на континентальном шельфе, в пределах и вблизи прибрежной зоны была равна 13 млн. км², а число обнаруженных там месторождений превышало 700. Уже к 1985 г. на шельфе мира было пробурено свыше 200 тыс. поисково-разведочных скважин. Нефть добывают на всех континентальных шельфах мира. Загрязнение воды при этом практически неизбежно. Вопрос в том, насколько оно локально, то есть, как оно влияет в целом на состояние морей.

Другая проблема – удаление нефтяных платформ с отработанных участков таких акваторий, как Северное море или Мексиканский залив. Они исчисляются сотнями и препятствуют судоходству и рыболовству.

Во многих местах на мелководьях производится добыча песка и гравия для строительства. Добывают также металл из морских россыпей и железомарганцевые конкреции. Эта деятельность отрицательно влияет на состояние дна, в том числе на бентос, увеличивает мутность воды и препятствует рыболовству.

Использование энергии океана. Запасы энергии в океане огромны, но ее концентрация невелика, и потому пока не удастся разработать эффективные технологии извлечения энергии. Проводились крупные эксперименты по ис-

пользованию энергии приливов (Франция, Россия). Имеются проекты использования энергии волн, морских течений, разности температур поверхностной и глубинной воды, но, по-видимому, они не вышли за пределы скромных экспериментов и проработок на бумаге.

Использование морских биологических ресурсов. Рыба – один из основных источников питания человека, на ее долю приходится 20% потребляемых белков. В течение последних десятилетий мировые уловы рыбы заметно выросли, от 22 млн. т в 1950 г. до максимума в 1989 г., равного 100 млн. т. Рост уловов в мире привел к увеличению потребления рыбы на душу среднестатистического жителя Земли от 9 кг в 1950 г. до 19 кг в 1989 г. При этом рост уловов был неуклонным, за исключением нескольких лет в конце 60-х и начале 70-х годов XX века, когда чрезмерный лов сардины у берегов Перу подорвал запасы этого стада настолько, что последствия сказались на величине общемирового улова, а стадо не восстановилось до сих пор.

Похожие ситуации складываются и с другими видами рыб и на других акваториях. Максимально возможный устойчивый улов какого-либо вида зависит от двух основных факторов: численности стада и ежегодного прироста молоди. Необходимо, чтобы значительное число особей в стаде могло созреть и дать потомство, прежде чем эти, уже взрослые рыбы будут выловлены.

Похоже, что общемировые уловы рыбы достигли своего пика. Хуже, если они превзошли уровень устойчивого годового прироста, потому что в этом случае можно ожидать снижения рыбных ресурсов и дальнейшего падения уловов. Прогнозы указывают на то, что к 2030 г. среднее статистическое потребление рыбы упадет до 11 кг/чел, то есть почти вернется к уровню 1950 года.

Вопросы по Главе 3:

1. Что такое гидросфера?
2. Опишите глобальный круговорот воды в природе.
3. Дайте характеристику основным функциям вод суши.
4. В чем причина неравномерности распределения водных ресурсов и водообеспеченности?
5. Раскройте основные направления управления водопотреблением.
6. Дайте характеристику качеству природных вод.
7. Перечислите основные проблемы, связанные с загрязнением природных вод.

Глава 4

Педосфера и земельные ресурсы

4.1. Основные функции сферы почв (педосферы)

Совокупность почв мира часто выделяют в особую часть экосферы, называемую сферой почв, или педосферой (от греч. *пёдон* – почва). По определению В.А. Ковды, *педосфера – это общемировая биоэнергетическая и биогеохимическая система, способная к саморазвитию и саморегуляции, обеспечивающая существование и воспроизводство живых организмов*. Именно эти черты педосферы обуславливают плодородие естественных и антропогенных (сельскохозяйственных, лесохозяйственных) экосистем.

Почва – многокомпонентное, но целостное природное образование. Она образуется на земной поверхности там, где проникают друг в друга и взаимодействуют все четыре геосферы (литосфера, гидросфера, атмосфера и биосфера), составляющие экосферу.

Почва – особое образование, на грани живого и неживого, названное В.И. Вернадским биокосным телом, с переплетающимися, сложнейшими биологическими, химическими и физическими процессами. Эти процессы зависят от природных условий каждого места, то есть они подчиняются определенным географическим законам, что и привело к формированию генетически обусловленных, зональных типов почв, классификация которых была предложена более 100 лет тому назад В.В. Докучаевым.

Почва это сложно функционирующая динамическая система, в которой все три фазы состояния вещества: твердая, жидкая и газообразная, а также живое вещество, взаимодействуют друг с другом в результате множества процессов различной природы, скорости и интенсивности. При этом вещества могут преобразовываться из одной фазы в другую. К тому же они отличаются способностью перемещаться вверх и вниз по почвенному профилю.

Почва тесно связана с элементами геосфер в каждом ландшафте, а значит, и с Землей в целом, играя активную роль в глобальных биогеохимических циклах вещества. Происходит обмен между воздухом почвы и атмосферы. Движение воды сквозь почву в процессах инфильтрации, испарения, стока и пр. обуславливает активное участие почвы в глобальном круговороте воды. При этом вода также образует и переносит почвенные растворы, активно участвуя в процессах почвообразования. Верхняя часть литосферы, подверженная процессам выветривания, является источником минеральных компонентов в почве.

Таким образом, почва может рассматриваться как природное тело, как динамическая система и как часть ландшафта.

Основными функциями почвенного покрова, по В.А. Ковде, являются:

- *биоэкологическая (место размещения и функционирования живого вещества);*
- *биоэнергетическая (место преобразования солнечной энергии, аккумулированной в гумусе и других органических веществах, в биомассу);*
- *функция фиксации азота и образования белков;*

- функция активного агента в глобальных биогеохимических циклах основных химических элементов;
- функция преобразования подстилающих кристаллических пород в измельченные фракции (выветривание);
- гидрологическая функция (область активного водообмена между геосферами);
- метеорологическая функция (область, вносящая заметный вклад в формирование состава и режима атмосферы).

Эти функции определяют очень многие взаимосвязи в глобальном механизме функционирования экосферы как системы. Из многочисленных важнейших функций следует выделить основные, а именно определяющую роль почвы в производстве первичной биологической продукции как основы возобновимых природных ресурсов и главного источника питания человечества, и роль почвы как тонкой поверхностной оболочки экосферы, через которую осуществляется обмен веществом и энергией во многих звеньях глобальных биогеохимических циклов и регулируется химический состав вод и воздуха.

Большая часть проблем геоэкологии, так или иначе, связана с педосферой. Химические изменения атмосферы и вытекающие отсюда последствия зависят от участия почвы в глобальных биогеохимических циклах вещества. Состояние океанов, окраинных и внутренних морей и, в особенности, прибрежных зон в сильной степени определяется выносом наносов, растворенных и взвешенных химических веществ со стоком с материков. А в формировании стока всех этих веществ, равно как и собственно жидкого стока, почвенный покров и его состояние играют очень большую роль.

Изменения состояния и продуктивности природных экосистем, в частности обезлесение и опустынивание, влияют на состояние почвенного покрова, а оно, в силу существования обратных связей, влияет на дальнейшее снижение продуктивности. Наконец, ряд проблем окружающей среды, возникающих в искусственно созданных или сильно преобразованных человеком экосистемах, таких как агроэкосистемы, также тесно взаимосвязаны с состоянием почвенного покрова или его воздействием на другие компоненты экосферы.

Что касается потенциального плодородия, то большая часть суши непригодна, малопригодна или неудобна для земледелия. Согласно одной из оценок, в мире имеется 32,8 млн. км² пригодных к пахоте почв, или 22% общей площади суши. При этом лишь 3% площади суши представляют высокопродуктивные почвы.

4.2. Антропогенная деградация почв

Скорости природных процессов, протекающих в почве, и скорости антропогенных процессов, возникающих при использовании почвы, весьма различны. Например, ежегодные темпы водной эрозии пашни в десятки раз превышают естественные темпы восстановления почвы. С естественно-научной точки зрения, почвы – это возобновимый природный ресурс, но практически, вследствие малых скоростей естественных процессов по сравнению с антропогенными

ми, этот ресурс в большинстве ситуаций может рассматриваться как невозобновимый. Использование почв зачастую приводит к ухудшению их природных свойств, то есть к их деградации. В процессе деградации ухудшаются многие свойства почвы, в том числе уменьшается содержание почвенного гумуса и теряется часть наиболее ценной, тонкодисперсной фракции почвы. Применение удобрений и других агротехнических приемов может временно компенсировать или затушевывать эффект деградации почв.

Деградация почв – явление столь же естественное, сколь и социальное. По определению Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), *деградация почв – антропогенный процесс снижения способности почв обеспечивать существование людей.*

В проблеме деградации почвенного покрова многочисленные и разнообразные локальные вопросы складываются в глобальную проблему. Деградация педосферы – одна из самых серьезных, долгосрочных, общемировых проблем, стоящих перед человечеством, потому что она один из важнейших факторов в проблеме обеспечения населения мира продовольствием.

Глобальная оценка деградации почв (Global Assessment of Soil Degradation – GLASOD), была выполнена ЮНЕП в 1990 году. Согласно оценке, только малонаселенные районы бореальных лесов и пустынь, не затронуты антропогенной деградацией почв.

По оценке ЮНЕП, 15% деградированных сельскохозяйственных земель относятся к категории «сильно деградированных». Это почвы, у которых исходные биотические функции – превращать биогенные вещества в формы, ассимилируемые растениями – преимущественно разрушены, и они больше непродуктивны. Эти почвы столь сильно деградированы, что их восстановление или невозможно, или же труднодостижимо из-за технических сложностей и крайне высокой цены такой работы. Например, восстановление богарных (неполивных) почв в США обходится в среднем в 4000 \$/га. Другая часть деградированных почв (46%) относится к категории «умеренно деградировавших», со значительно сократившейся продуктивностью.

Деградация почв происходит вследствие различных причин антропогенного характера. Водная и ветровая эрозия почв – важнейшие процессы, распространенные на 84% деградировавших почв. К другим основным процессам деградации можно отнести ухудшение структуры почвы, ее техногенное загрязнение, засоление, заболачивание и подтопление. Площадь и степень деградации почв мира, по данным GLASOD, приведены в таблице 4.1.

Как и в целом для мира, почвы на территории России значительно деградированы, при этом географическое распределение степени деградации неравномерное.

В России преобладают следующие процессы деградации почв:

- *Снижение содержания гумуса (дегумификация);*
- *Обесструктурирование, в том числе уплотнение из-за использования тяжелой сельскохозяйственной техники;*
- *Водная эрозия;*
- *Ветровая эрозия (дефляция);*

- Техногенное подкисление промышленными выбросами и удобрениями;
- Загрязнение пестицидами;
- Промышленное загрязнение (вокруг крупных городов и мест горнодобывающей промышленности);
- Деградация вечной мерзлоты;
- Заболачивание и подтопление;
- Вторичное засоление.

Таблица 4.1

Площадь и степень деградации почв мира

Типы и степень деградации почв	Площадь	
	млн. км ²	в %
<i>Тип деградации:</i>		
Смыв и разрушение водной эрозией	10,9	8
Развевание и разрушение ветровой эрозией	5,5	4
Химическая деградация (обеднение гумусом, засоление, загрязнение, закисление и др.)	2,4	2
Физическая деградация (переуплотнение, заболачивание, просадки и пр.)	0,8	1
<i>Степень деградации:</i>		
Слабая	7,5	6
Умеренная	9,1	7
Сильная	3,0	2
Очень сильная	0,1	0,1

В особенности следует отметить, что около 2/3 всей пашни России располагается на черноземах различных типов, то есть исходно на богатейших, наиболее плодородных почвах мира. Качество этих почв весьма сильно ухудшилось, как это демонстрируют данные для черноземов Русской равнины, с интервалом в 100 лет. Запасы гумуса сократились примерно на одну четверть. Деградация почв России – это колоссальная, трудно восполнимая потеря природного богатства. Однако деградация черноземов это ущерб не только для России, но и для человечества в целом, поскольку она связана со снижением потенциального плодородия почв мира и, следовательно, отрицательно влияет на решение проблемы продовольствия.

4.3. Геоэкологические проблемы земледелия

Естественные экосистемы, как правило, замкнуты, то есть отличаются весьма малыми потоками вещества и энергии через их границы. Любая сельскохозяйственная экосистема существенно отличается от природных экосистем значительными потоками вещества и энергии через ее границы из-за выноса веществ с урожаем, поступления удобрений, воды для орошения, пестицидов, и т.п. Центральным звеном в агроэкосистеме является почва, в которой, несмотря на массивированные антропогенные воздействия, плодородие должно сохраняться на определенном уровне, чтобы обеспечивать ожидаемый уровень продукции. При этом возникает ряд проблем окружающей среды на уровне отдельного сельскохозяйственного поля. Другая группа проблем связана с воздействием

сельского хозяйства на окружающую среду за пределами поля, и часто весьма далеко за пределами.

Основные неблагоприятные процессы на уровне поля снижают плодородие почв, модифицируя их физическое, химическое и биологическое состояние. Это водная и ветровая эрозия, последствия применения удобрений и пестицидов, уплотнение почвы, ее загрязнение, а также засоление, подтопление и заболачивание почв.

Водная и ветровая эрозия почв. Эрозия почв – это естественный геоморфологический процесс, неотъемлемое звено, как глобальных биогеохимических циклов, так и глобального цикла денудации-аккумуляции. Наибольшие величины естественной водной эрозии вне горных территорий наблюдаются в зонах полупустынь и степей. Здесь количество осадков, составляющее около 250-500 мм в год, еще достаточно велико, чтобы обеспечить размыв и смыл почвы, а естественная растительность уже не полностью защищает почву от воздействия дождевых капель. Наименьшие величины естественной водной эрозии характерны для тех ландшафтных зон, где сплошная, зачастую многоярусная растительность защищает поверхность почвы от размыва (в зонах влажных лесов), или где осадков недостаточно для заметного смыва (зоны пустынь). Распределение естественной водной эрозии почв в мире в целом подчиняется закону географической зональности.

Максимум естественной ветровой эрозии располагается в аридных зонах (полупустыни и пустыни). На глобальном уровне роль ветровой эрозии приблизительно вдвое меньше, чем водной эрозии. Общая площадь в мире, подвергающаяся необратимым изменениям вследствие ветровой эрозии, невелика, но локальный эффект этого процесса может быть весьма серьезным.

При превращении природной экосистемы в сельскохозяйственное поле условия для эрозии резко меняются. Поверхность почвы становится слабо прикрытой растительностью, а значительную часть года и вовсе голой. Многочисленные данные указывают на то, что при преобразовании лесного ландшафта в полевую агроэкосистему величины эрозии увеличиваются по крайней мере на два-три порядка величины, а при преобразовании открытого (нелесного) ландшафта – на один-два порядка. Поэтому при сельскохозяйственном освоении территорий эрозия почв резко увеличивается и остается на высоком уровне.

В России почти половина площади почв подвержена водной и ветровой эрозии. На 5 млн. га бывшего СССР располагаются сильно эродированные почвы, на которых урожаи не превышают 40% от тех, которые были бы при неизменной почве. В последние годы существования СССР с полей выносилось 100 млн. т гумуса и более 40 млн. т соединений азота, фосфора и калия в год. Это в полтора раза больше количества вносимых в то время в почву удобрений, и именно таким образом потенциальное плодородие почвы неуклонно снижается.

Многочисленные факты из других районов мира также указывают на чрезвычайно высокую степень снижения естественного плодородия почв.

В США за последние 200 лет смыто около трети верхнего слоя почвы, и естественное плодородие сократилось на 10-15%. Около двух третей пашни

США нуждаются в защите от эрозии. Почвенная эрозия в США уносит приблизительно вдвое больше биогенных веществ, чем их вносится в почву в виде удобрений. Около половины наносов рек США обязаны своим происхождением эрозии почв.

Еще хуже ситуация с эрозией почв в развивающихся странах, где благоприятные для эрозии природные условия сочетаются, как правило, с низким уровнем противоэрозионной агротехники. На о. Ява, например, рост доходов сельскохозяйственного производства за последние 10-15 лет составлял около 4% в год, но эта величина примерно равна потерям плодородия почв в результате эрозии. В Зимбабве эрозия уносит втрое больше биогенов, чем их вносится ежегодно.

Главная причина эрозии почв – сельское хозяйство.

Противоэрозионная способность почв зависит от содержания гумуса и карбонатов, концентрации катионов в поглощающем комплексе, механических и агрегатных свойств почвы. Каждый генетический тип почвы отличается характерным для него набором параметров. Наибольшей эрозионной устойчивостью среди почв Русской равнины обладают черноземы. К северу и югу от зоны черноземов устойчивость почв к водной эрозии снижается. С другой стороны, более 70% черноземов мира распашано. Поэтому общий объем эрозии в черноземной зоне под влиянием земледелия значительно увеличился.

Насколько увеличилась эрозия почв мира вследствие трансформации естественных экосистем в пашню? Установлено, что с полей смывается ежегодно не менее 90 млрд. т почвы. Для сравнения: твердый сток рек мира оценивается в 22 млрд. т в год. В настоящее время водная эрозия почв по крайней мере в пять раз больше, чем она была при ненарушенных земледелием условиях. Объем смытой почвы содержит больше фосфора, чем все производство фосфорных удобрений в мире за год.

Главные потенциальные резервы земельных ресурсов под пашню располагаются в тропических и экваториальных районах. Расширение площади пашни приведет там к значительному росту эрозии почв. Продолжающееся обезлесение приведет к дальнейшему увеличению эрозии почвы, в особенности во влажной экваториальной зоне, где, по сравнению с доземледельческим периодом, эрозия уже увеличилась в 8 раз, и при условии использования всех доступных земельных ресурсов может вырасти в 24 раза.

Наибольшее увеличение эрозии почвы, в 33 раза по сравнению со временем до начала земледелия, отмечается в районах достаточного увлажнения умеренного пояса, где по климатическим условиям изначально произрастали леса и где площадь пашни весьма велика.

На уровне речного бассейна смытые почвы представляют собой наносы, переносимые реками. Увеличение стока наносов приводит к заилению водохранилищ, каналов, оросительных систем и судоходных путей.

Геоэкологические последствия применения удобрений. Для своего развития растения нуждаются в определенном количестве биогенных веществ (соединений азота, фосфора, калия и др.), обычно поглощаемых из почвы. В естественных экосистемах биогены, ассимилированные растительностью, возвращаются

в почву в результате процессов деструкции в круговороте вещества: разложения плодов, растительного опада, отмерших побегов, корней и пр. Некоторое количество соединений азота фиксируется бактериями из атмосферы. Часть биогенов привносится с осадками. На отрицательной стороне баланса находятся инфильтрация и поверхностный сток растворимых соединений биогенов, их вынос с почвенными частицами в процессе эрозии почвы, а также преобразование соединений азота в газообразную фазу с уходом ее в атмосферу.

В природных экосистемах скорость накопления или расходования питательных веществ обычно невелика. Например, для девственной степи на черноземах Русской равнины соотношение между потоком соединений азота через границы избранного участка степи и его запасами в верхнем метровом слое составляет около 0,0001 или 0,01%. Можно сказать, что в масштабах жизни человека баланс биогенных веществ, так же как и гумуса для девственных (первичных) экосистем, замыкается с высокой точностью.

Сельское хозяйство нарушает естественный, практически замкнутый баланс биогенов. Ежегодный урожай уносит часть биогенов, содержащихся в произведенном продукте. В агроэкосистемах скорость выноса питательных веществ на 1-3 порядка больше, чем в природных системах, причем, чем выше урожай, тем относительно больше интенсивность выноса. Следовательно, даже если первоначальный запас питательных веществ в почве и был значительным, в агроэкосистеме он может израсходоваться сравнительно быстро.

Всего в мире с урожаем зерна выносятся, например, около 40 млн. т азота в год, или примерно 63 кг на 1 га площади зерновых. Отсюда следует необходимость применения удобрений для поддержания плодородия почвы и повышения урожаев, так как при интенсивном земледелии без удобрений плодородие почвы снижается уже на второй год. Обычно применяются азотные, фосфорные и калийные удобрения в различных формах и сочетаниях, в зависимости от местных условий. В то же время, применение удобрений маскирует деградацию почв, заменяя естественное плодородие на плодородие, базируется в основном на химических веществах.

Наряду с положительными эффектами, удобрения создают также экологические проблемы, в особенности в странах с высоким уровнем их применения.

Нитраты опасны для здоровья человека, если их концентрация в питьевой воде или продуктах сельского хозяйства выше установленной ПДК. Концентрация нитратов в воде, стекающей с полей, обычно находится между 1 и 10 мг/л, а с нераспаханных земель она на порядок меньше. По мере роста массы и продолжительности применения удобрений, все большее количество нитратов попадает в поверхностные и подземные воды, делая их непригодными для питья. Если уровень применения азотных удобрений не превышает 150 кг/га в год, то в природные воды попадает примерно 10% от объема применяемых удобрений. При более высокой нагрузке эта доля еще выше. В особенности серьезна проблема загрязнения подземных вод после того, как нитраты попали в водоносный горизонт.

Зависимость сельского хозяйства от минеральных удобрений привела к серьезным сдвигам в глобальных циклах азота и фосфора. В частности, про-

мышленное производство азотных удобрений привело к нарушению глобального баланса азота вследствие роста объема доступных для растений соединений азота на 70% по сравнению с доиндустриальным периодом. Избыток азота может изменить кислотность почв, а также содержание в них органического вещества, что может привести к дальнейшему выщелачиванию питательных веществ из почвы и ухудшению качества природных вод.

В настоящее время рост применения удобрений вызывает все меньшее приращение урожая. Вследствие этой причины, а также вследствие изменения типа экономики в ряде стран, объем применения удобрений в мире не растет с 1990 г. В такой ситуации удобрения более не маскируют снижение плодородия почв, потому что они не могут заменить другие важные компоненты почвы как сложного природного тела: органического вещества, тонкой фракции почвы, водоудерживающей способности почвы, почвенной фауны беспозвоночных и микроорганизмов и пр.

В то же время, развивающиеся страны нуждаются в более высоком уровне применения удобрений для повышения сельскохозяйственной продукции, что, с другой стороны, неизбежно повлечет за собой рост геоэкологических проблем.

Научно обоснованные стратегии сельского хозяйства должны исследовать возможности сокращения объема применяемых удобрений с целью поиска оптимального уровня их применения, а также включать такие компоненты, как корректная технология их применения и защита почв от эрозии.

Геоэкологические последствия применения пестицидов. Значительная часть урожая уничтожается вредителями и погибает вследствие болезней как на поле, так и, позднее, в хранилищах. Иногда потери достигают половины урожая (в бывшем СССР – до 30-40 %, в США – 33%). Одно из основных направлений борьбы с вредителями сельского хозяйства (насекомыми, грызунами, грибами, сорняками) – это применение химических веществ, называемых пестицидами.

Пестициды – общее название для всех химических веществ, применяемых для борьбы с вредителями, а также и более узкое название для части веществ, применяемых против насекомых. Гербициды применяются для контроля сорняков, фунгициды – против грибов, родентициды – против грызунов. Основной потребитель пестицидов – сельское хозяйство. В СССР в 1989 г. 88% всей пашни обрабатывалось пестицидами.

Всего в мире используется не менее 180 пестицидов в виде нескольких тысяч препаративных форм. Большинство проблем применения пестицидов, возникает потому, что практически все они являются ксенобиотиками – чуждыми для природы химическими соединениями.

По оценкам Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в мире от применения пестицидов умирают 20000 человек и около 1 млн. человек получают отравление со значительными последствиями для здоровья. Многочисленные исследования свидетельствуют, что любое увеличение пестицидных нагрузок повышает частоту распространения самых различных патологий, ведет к увеличению заболеваемости (в особенности детей) не только посредством прямого поражения организма человека, но и путем подавления иммунной сис-

темы, нарушения процессов роста, развития и обмена веществ. Если применение пестицидов в мире будет возрастать, то можно ожидать соответствующего увеличения заболеваемости и смертности.

Воздействие пестицидов на природу столь же серьезно, как и воздействие их на человека. Каждый вид, численность которого подлежит регулированию, обитает вместе с сотнями видов, численность которых изменять нежелательно. Поэтому обычно менее одного процента применяемых пестицидов достигает цели. Остальные 99% попадают в окружающую среду, загрязняя почву, воздух, воду и отравляя биоту, часто с непредсказуемыми последствиями.

Многообразные пестициды различным неблагоприятным образом воздействуют на ландшафты и их компоненты. Группы животных, наиболее страдающих от пестицидов, оказываются (в порядке увеличения степени поражения): беспозвоночные, рыбы, птицы, млекопитающие, микроорганизмы. Исследование поведения пестицидов в ландшафте в зависимости от географических условий – важная и пока недостаточно изученная проблема.

Попавший в окружающую среду пестицид включается в процессы биоаккумуляции, когда может происходить многократное (до сотен тысяч раз) повышение его концентрации по мере продвижения пестицидов по пищевым цепям. В результате отдельные, иногда отдаленные от пестицидной мишени звенья пищевых цепей могут оказаться крайне токсичными. Последствия биоаккумуляции пока еще не полностью поняты и могут оказаться даже более опасными, чем это видится сейчас.

Другая серьезная проблема применения пестицидов в том, что вредители привыкают к пестицидам, это привыкание передается по наследству, снижая эффективность пестицидов и заставляя вводить в использование все новые и новые химические вещества. Это явление, так называемая резистентность, привело к тому, что более десятка массовых видов насекомых развили нечувствительность ко всем основным классам применяемых соединений. К ним относятся мухи, тараканы колорадский жук, капустная моль и др. Резистентность к применяемым пестицидам вырабатывается через 10-30 поколений, так что в недалеком будущем, при современной стратегии применения пестицидов, все основные вредители могут стать резистентными.

Если обобщить проблемы применения пестицидов, то можно сказать, что их основная опасность заключается в нарушении жизнеобеспечивающих свойств экосферы и ухудшении состояния здоровья людей.

В долгосрочной перспективе большая часть применяемых химических веществ должна быть запрещена и заменена на биологические средства борьбы (или на интегрированные биологические, химические и другие средства защиты урожая). Однако немедленный запрет, вряд ли возможен.

Уплотнение почвы. Существуют две основные линии интенсификации сельского хозяйства: увеличивающееся применение или технологии (механизмов, энергии и пр.), или ручного труда. При технологически интенсивном сельском хозяйстве, где производится около половины продовольствия мира на одной пятой пахотной площади, широко используются сельскохозяйственные машины. Всего в мире в сельскохозяйственном производстве используется бо-

лее 30 млн. тракторов, не считая комбайнов, плугов, сеялок и др., а также грузовиков. Почти все эти машины очень тяжелые. Некоторые сельскохозяйственные машины превышают допустимую нагрузку даже на асфальтированные дороги.

Многократное использование тяжелых сельскохозяйственных машин за сезон и за многие годы приводит к уплотнению почв. Разрушается структура почвы, снижается ее пористость, ограничивается развитие корней растений, и таким образом неуклонно снижается плодородие почвы. Если эти процессы развиваются в верхнем слое почвы, то ситуация может быть скорректирована ежегодной вспашкой. Но все более интенсивное использование тяжелых машин приводит к уплотнению глубоких горизонтов почвы, что не может быть исправлено снятием нагрузки или вспашкой.

Геоэкологические проблемы орошения. Орошение применяется издавна, чтобы обеспечить повышенный и устойчивый урожай. Большинство древних цивилизаций основывалось на орошаемом земледелии. Однако истинное расширение ирригации произошло в XX столетии, когда площадь орошаемых земель в мире выросла в 5-6 раз. В начале XX века площадь орошаемых земель в мире не превышала 40 млн. га. Наиболее интенсивный рост площадей орошения пришелся на 50-60-е годы XX века, но затем он замедлился, а в некоторых странах, например в США, стал отрицательным. Прирост орошаемых площадей в мире в течение XX века превысил прирост численности населения и был, таким образом, важным фактором в решении проблемы продовольствия.

Имеется несколько причин современного снижения темпов развития орошения:

- *высокая стоимость новых проектов, в среднем не менее 1000-2000 долларов США за гектар;*
- *невыгодность вложения средств в проекты орошения по сравнению с другими областями инвестиций;*
- *дефицит водных ресурсов;*
- *дефицит подходящих земель;*
- *потеря орошаемых территорий вследствие засоления, заболачивания и подтопления почвы;*
- *деградация оросительных систем.*

Орошение – это, безусловно, благо для человечества, но одновременно оно приносит серьезные проблемы, прежде всего, геоэкологического характера. Превращение естественного ландшафта в агроэкосистему всегда приводит к очень глубоким преобразованиям состояния и режима территории. Это еще более верно, когда естественный ландшафт превращается в систему орошения, то есть в новую, почти полностью искусственную инженерную систему. Ведущие процессы коренным образом изменяются: вместо малого количества воды, поступающей с атмосферными осадками, что характерно для засушливых областей, поле получает большое количество воды. В результате изменяется основной тип водного режима почвы. Вместо непромывного режима, когда воды не промачивают ежегодно почвенный профиль, возникает промывной режим, при котором происходит ежегодное, многократное промачивание почвы. Изменя-

ются все особенности режима почвы, в том числе условия миграции химических соединений, а затем и физические свойства почвы.

При значительном развитии ирригации не только отдельное поле или оросительная система претерпевают глубокие геоэкологические изменения, но они захватывают речные бассейны, включая такие крупные как Нил, Колорадо, Инд или Амударья.

Опыт показывает, что какая бы территория ни находилась под влиянием орошения, будь это речной (озерный) бассейн, оросительная система, или поле, она приобретает тенденцию к деградации, и требуются постоянные, энергичные меры, поддерживающие ее устойчивость и, таким образом, контролирующие ситуацию.

Основная задача ирригации – поддержание оптимальной влажности почвенного слоя для развития растений; орошение – главный пользователь воды в мире, забирает до 80% всей используемой воды.

С точки зрения ресурсов, главная проблема состоит в малой эффективности использования воды. Коэффициент полезного действия для поля или оросительной системы есть отношение объема используемой растениями воды к объему забираемой воды. Он сильно варьирует, в зависимости от многих условий, но в целом можно сказать, что обычно к.п.д. находится в пределах 0,4-0,6, часто и того ниже.

Существует много причин неэффективного использования воды. Одна из них, может быть, главнейшая, в том, что цена за воду намного ниже, чем ее социальная стоимость. Во многих случаях и во многих странах вода для орошения бесплатна, или же она ниже затрат на поддержание систем орошения, не говоря уже о капитальных затратах. Непропорционально высокое расходование воды, превышающее потребности растений, приводит к неблагоприятным геоэкологическим последствиям. Главное из них – подъем уровня грунтовых вод вследствие избыточного количества оросительной воды при недостаточно эффективном или отсутствующем дренаже. Это приводит к подтоплению или заболачиванию территории. Кроме того, соли, вымываемые из почвы, вместе с солями, находящимися в грунтовых водах, оказываются в пределах почвенного профиля, вызывая тем самым чрезвычайно неблагоприятный для земледелия процесс – засоление почв. Предотвращение засоления заключается в обеспечении хорошего дренажа почв, то есть в обеспечении отвода избыточного количества воды.

Примерно четверть орошаемых площадей мира в той или иной степени засолена, и очень большие территории совершенно выведены из обращения как прошлыми цивилизациями, так и в результате хозяйствования последних десятилетий.

Геоэкологические проблемы орошения указывают на необходимость учета полной стоимости ирригации, которая бы включала не только затраты на строительство и эксплуатацию оросительных систем, но и стоимость ухудшения состояния окружающей среды, затраты на решение экологических вопросов и социально-экономических проблем. Такая полная стоимость, несмотря на очевидные трудности подобных расчетов, помогла бы оценивать действитель-

ную эффективность проектов оросительных систем.

4.4. Устойчивость сельского хозяйства

Анализ антропогенных факторов изменения состояния почв и использования земель мира говорит о том, что педосфера как основа живого вещества Земли, как критическое звено в глобальных биогеохимических циклах, как основной источник продовольствия для быстро растущего населения мира, находится под угрозой. Деградация педосферы – одна из самых серьезных, долгосрочных геоэкологических проблем мира, потому что нигде более разрушение систем жизнеобеспечения Земли не зашло так далеко. Имеются более видимые и более впечатляющие общемировые проблемы, встречаются очень острые локальные проблемы, и они привлекают внимание. Но деградация педосферы все еще не расценивается так, как она того заслуживает.

Главная область беспокойства – сельское хозяйство, где возможность временно поправить ситуацию посредством внесения удобрений и пестицидов, введение искусственного полива, или же использование новых машин может временно отложить или скрыть наступающий кризис. С одной стороны, технологические вложения, лишь временно замещающие естественные факторы плодородия почв, приносят с собой ряд геоэкологических проблем, обсуждавшихся выше. С другой стороны, сами эти технологические вложения есть продукт экологически неблагополучной промышленности или энергетики. В результате сельское хозяйство, играющее столь большую роль в трансформации экосферы, экологически весьма неустойчиво.

Геоэкологическая неустойчивость агроэкосистем отмечается на всех иерархических уровнях. Существует много примеров деградации почв на уровне поля вследствие эрозии, засоления, загрязнения, уплотнения почв. На уровне водосбора проявляются в основном проблемы химического характера, такие как увеличивающийся транспорт растворенных солей реками или рост концентрации нитратов в источниках водоснабжения. На глобальном уровне – нарушения, в основном, в социально-экономической сфере, но природные процессы также испытывают неблагоприятные воздействия.

Несмотря на продолжающееся ухудшение ресурсной базы сельского хозяйства, растущее население мира должно быть обеспечено питанием. Необходим переход к экологически устойчивому сельскому хозяйству. Стратегия перехода весьма сложна и требует очень больших усилий даже для ее разработки, не говоря уже о выполнении. В сложной системе, какой является сельское хозяйство, элементы стратегии могут быть весьма далеки от состояния почв, но могут привести к желаемым результатам. К ним относятся эффективное управление численностью населения, оптимизация качества питания взамен максимизации объема производства, устранение или снижение государственных субсидий сельскому хозяйству.

Наряду с социально-экономическими элементами стратегии перехода к экологически устойчивому сельскому хозяйству, существуют экологически благоприятные методы ведения хозяйства. Они основаны на минимизации чу-

ждых для природы агротехнических приемов, таких как применение пестицидов или минеральных удобрений. Это так называемое органическое земледелие. Его также называют биологическим, или экологическим (organic, biological, ecological farming). В среднем такой метод ведения хозяйства приносит меньшие урожаи, но их продукты отличаются высокими питательными качествами. Вследствие более высоких цен на такие продукты органическое земледелие может приносить не меньше дохода, чем высокотехнологичное сельское хозяйство.

Однако доля площади, обрабатываемой с применением органического земледелия, не превышает нескольких процентов даже в передовых странах. При этом отмечается определенная, хотя и слабая, тенденция к росту. В качестве переходной, или компромиссной стратегии можно рассчитывать на снижение количества вносимых химических веществ (удобрений и пестицидов), более эффективное их применение, более эффективное управление оросительными системами, разумное ограничение в строительстве новых оросительных систем, применение менее тяжелых машин за более короткое время и пр.

Человечество достигло многого в производстве продуктов питания. Но цена была столь высока, что пришлось занимать ресурсы у внуков. Больше занимать нельзя. Более того, пришло время отдавать, и единственный путь к этому – общемировая трансформация сельского хозяйства в духе концепции устойчивого развития.

Вопросы по Главе 4:

1. Что такое педосфера Земли?
2. Раскройте основные глобальные функции почв.
3. Охарактеризуйте основные проблемы, связанные с антропогенной деградацией почв.
4. Опишите основные геоэкологические проблемы земледелия.
5. Каковы пути ведения устойчивого землепользования и сельского хозяйства?

Глава 5 Литосфера

5.1. Строение Земли и литосфера

Основная по массе, твердая часть планеты Земля состоит из ядра, мантии и земной коры. В свою очередь, ядро разделяется на внутреннее и внешнее. Внутреннее ядро имеет радиус 1250 км, объем около 0,7% и массу около 1,2% всей Земли. Предполагается, что оно является твердым телом, близким к состоянию плавления. Внешний слой ядра объемом 15,2% и массой 29,8% всей Земли располагается на глубинах 2900-5000 км. Считается, что он находится в расплавленно-жидком состоянии.

Мантия располагается на глубинах менее 2900 км. Она делится на три слоя: нижнюю мантию, среднюю и верхнюю. В верхней мантии, на глубинах порядка 60-250 км, преобладают базальты, находящиеся в состоянии расплава или близком к этому. В этом слое вязкость вещества и его прочность на два-три порядка величины меньше, чем вязкость и прочность вышележащего жесткого слоя. Слой пониженной вязкости называется астеносферой.

Вышележащий жесткий слой, ограничивающий сверху твердую часть Земли, – это земная кора. Средняя плотность вещества коры $2,8 \text{ г/см}^3$. Ее масса составляет 0,8% массы всей Земли. Средняя толщина земной коры около 30 км, с колебаниями от 4-6 км под срединными океаническими хребтами и некоторыми абиссальными впадинами до 55-70 км под молодыми складчатыми горами.

В земной коре сверху вниз обособляются три слоя: осадочный, гранитный и базальтовый. В верхнем слое преобладают глины, глинистые сланцы, песчаные, карбонатные и вулканогенные породы. Толщина осадочного слоя изменяется от 20-25 км в глубоких впадинах до практически полного его отсутствия на кристаллических щитах. Средний слой земной коры состоит из пород, близких по своим свойствам к граниту (граниты, гнейсы, гранодиориты, диориты, кристаллические сланцы, амфиболиты). Он отсутствует под океанами, а на континентах его мощность достигает нескольких десятков километров. Базальтовый слой сложен кристаллическими породами основного состава, более плотными по сравнению с гранитным слоем. Под океанами его мощность составляет 2-7 км, а под континентами – 15-40 км.

Строение земной коры весьма разнообразно, но выделяют два основных типа коры: континентальный и океанический. В типичном разрезе континентальной коры сверху лежат осадочные породы средней мощностью 3 км и плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$. Глубже следует гранитно-метаморфический слой средней мощностью 17 км и плотностью $2,6\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$. Под ним располагается базальтовый слой средней мощностью 15 км и плотностью $2,9\text{--}3,3 \text{ г/см}^3$. В типичном разрезе океанической коры средняя мощность рыхлых отложений составляет 0,7 км. Они лежат непосредственно на базальтах.

Земная кора и прилегающая к ней часть верхней мантии образуют литосферу. Непосредственно под литосферой располагается астеносфера. В литосфере находятся очаги большинства землетрясений, причем преимущественно в

верхних 30 км.

Самые верхние горизонты литосферы находятся в совместном и взаимосвязанном взаимодействии с другими геосферами. В результате такого взаимодействия на поверхности литосферы образуется кора выветривания – совместный продукт действия воды, воздуха и живых существ. На корях выветривания развиваются почвы. Мощность кор выветривания и их строение в целом подчиняются закону географической зональности. В нивальном и аридном поясах мощность кор выветривания не достигает обычно и 10 м, при относительно простой ее структуре, в то время как в экваториальном поясе коры выветривания весьма сложно построены, история их развития продолжительна, а мощность может превышать 60 м.

Верхние горизонты литосферы обычно не контактируют непосредственно с атмосферой и гидросферой. На суше литосфера покрыта чехлом почв (педосфера), растительности (биосфера) или же, особенно в холодных условиях – льда и снега (криосфера). Лишь в пустынях литосфера непосредственно соприкасается с атмосферой, да и то сквозь кору выветривания. В то же время, сквозь почву и кору выветривания происходит активный газообмен между атмосферой и литосферой. В еще большей степени происходит взаимодействие между литосферой и природными водами таким образом, что подземные воды – это и часть гидросферы, так и литосферы.

Таким образом, самые верхние горизонты литосферы активно вовлечены во взаимодействие с другими сферами. Это взаимодействие достигает максимума интенсивности у земной поверхности и уменьшается как книзу, так и кверху. Оно еще более усиливается по мере возрастания роли человека.

Нижняя граница экосферы размыта и постепенно с глубиной исчезает. Активная деятельность человека (карьеры, шахты, подземные хранилища, объекты гражданского и гидротехнического строительства, свалки и пр.) охватывает в литосфере преимущественно верхние несколько десятков метров, плавно уменьшаясь с глубиной, хотя отдельные особо глубокие карьеры, шахты и скважины выделяются из общей картины.

Один из самых глубоких в мире открытых карьеров – разработки медной руды Бингем Кэньон в штате Юта в США. Глубина карьера – 774 м, площадь – 7,2 км², а масса удаленной из карьера породы – 3,4 млрд. т. В России глубина карьера на Коркинском разрезе на Урале составляет 520 м. Значительны по глубине и площади многие другие карьеры и разрезы как в нашей стране, так и в мире, образующие горно-промышленные территории (КМА, КАТЭК и др.).

Отдельные шахты проникают до глубины 4 км. Буровые скважины также достигают глубин в несколько тысяч метров, а самая глубокая в мире, на Кольском полуострове, запроектирована на 15 км в глубину и превысила отметку 12 км.

Многочисленные и обширные карьеры, в которых добываются уголь, железная руда, руды других металлов, строительные материалы и другие полезные ископаемые широко распространены на всех обитаемых континентах. Всего в мире за год из поверхностного слоя литосферы извлекается и перерабатывается более 1000 млрд. т минерального сырья. Добывается около 400 видов

полезных ископаемых, обеспечивающих около 90% сырья для тяжелой промышленности.

Около 98% добываемых в литосфере материалов уходит в отвалы, и лишь не более 2% утилизируется человеком, да и то на относительно краткое время пользования данным продуктом. Иными словами, производится колоссальная антропогенная работа по перемещению материала в верхней части литосферы. Это в сильной степени затрагивает как экосферу в целом, так и отдельные ее части.

Вопросы антропогенного преобразования верхних этажей литосферы относятся к категории универсальных. Они встречаются во многих местах Земли, и в совокупности представляют собой весьма распространенную проблему экологической геологии.

По всей видимости, самая серьезная геоэкологическая проблема, касающаяся литосферы – антропогенная интенсификация экзогенной части большого «геологического» цикла, или цикла эрозии-седиментации.

5.2. Большой геохимический круговорот вещества

Взаимодействие литосферы с атмосферой, гидросферой и биосферой происходит в рамках глобального круговорота (цикла) вещества. Продукты коры выветривания, разрушающейся в результате действия комплекса природных факторов, перемещаются под действием силы тяжести, преимущественно при участии воды, а также ветра, ледников и других агентов. На поверхности Земли, в каждой ее точке взаимодействуют процессы накопления или расходования вещества. Эти процессы называются экзогенными.

С другой стороны, процессы в недрах Земли (эндогенные процессы) приводят в конечном итоге к вертикальным и/или горизонтальным тектоническим движениям и к проявлениям вулканической деятельности, сопровождающейся выносом на дневную поверхность и в верхние горизонты литосферы большого количества твердого материала.

Результирующая в каждой точке, то есть алгебраическая сумма величин опускания или поднятия отметки поверхности Земли, есть следствие взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов, формирующих рельеф Земли.

В областях преимущественного накопления твердого материала осадочные и вулканогенные отложения постепенно погружаются. По мере погружения, в течение геологически длительного времени они подвергаются воздействию весьма значительного и увеличивающегося с глубиной давления и температуры, а также глубинных растворов, и таким образом метаморфизуются. Часть магмы, образующейся в результате этих процессов, прорывается ближе к земной поверхности и преобразуется в кристаллические породы. Вулканогенные породы отлагаются в виде как глубинных интрузий, так и лав, излившихся на дневную поверхность. В областях горообразования вертикальные тектонические движения воздымают кристаллические и метаморфизованные породы на большие высоты, тем самым обеспечивая потенциальную возможность их денудации, разрушения и сноса. В самом верхнем этаже земной коры (зона гипер-

генеза) кристаллические породы разрушаются, снова формируя коры выветривания и тем самым замыкая цикл. Этот круговорот отличается весьма малыми, с точки зрения геологии, скоростями процессов с характерным временем в миллионы и десятки миллионов лет.

Большой цикл вещества (иногда называемый большим геологическим круговоротом) – один из важнейших процессов Земли как системы, вовлекающих в нее глубинные сферы нашей планеты. Однако лишь часть геологического цикла, преимущественно экзогенные процессы, относится к области интересов геоэкологии. Они развиваются преимущественно у дневной поверхности и ограничены десятками или первыми сотнями метров в глубину, то есть теми слоями, куда достигает деятельность человека и ее последствия.

По-видимому, человек пока в малой степени влияет на эндогенные процессы, хотя и имеются отдельные признаки или предположения о таком влиянии. Наиболее известны факты усиления сейсмической активности после строительства крупных водохранилищ. В то же время многие экзогенные процессы, преимущественно процессы денудации и сноса, находятся под сильным влиянием деятельности человека.

Рассмотрим важнейшую, с точки зрения геоэкологии, часть большого цикла вещества, относящуюся к литосфере в пределах суши. Если учитывать основные компоненты уравнения баланса массы всего объема суши, находящейся выше уровня Мирового океана, то оно выглядит, за длительный интервал времени, следующим образом:

$$\Delta M = S + D \pm V + I + A - G - W - B - F - K + C$$

Здесь ΔM – изменение массы всего выделяемого объема суши; S – сток наносов (взвешенных и влекомых) с суши в океан; D – сток растворенных веществ с суши в океан; V – баланс вещества, уносимого с суши и приносимого на сушу ветром; I – вынос вещества в океан покровными ледниками; A – разрушение (абразия) вещества в прибрежной зоне с выносом его в океан; G – аккумуляция продуктов вулканической деятельности на суше; W – связывание газообразного вещества атмосферы при процессах выветривания; B – биогенная аккумуляция вещества; F – приток вещества на сушу из более глубоких горизонтов литосферы в виде растворов и газов; K – приток вещества из космоса и потери его в космическое пространство; C – сжигание минерального топлива человеком.

В этом уравнении рассматривается весь массив суши в целом, находящийся над базисом эрозии, за который принимается средняя поверхность океана. Вертикальные тектонические движения в данном уравнении не учитываются, так же как и изменения уровня океана. Передвижение масс твердого материала, в основном гравитационное, происходит внутри массива суши, не влияя на окончательный результат. Гравитационные перемещения материала в результате процессов в пограничной (экотонной) зоне суша-океан учитываются составляющей A .

Сток наносов рек мира в океан (S) оценивался многими авторами, и крайние оценки различаются в 3-4 раза. Наиболее вероятная величина находится в пределах 18-22 млрд. т в год. Крупнейший специалист по речным наносам Д. Уоллинг (Англия) считает, что эта величина равна 20 млрд. т в год. Реками вы-

носятся в океан в основном взвешенные наносы, так что доля влекомых наносов в общем твердом стоке рек составляет не более нескольких процентов.

Сток растворенных веществ реками мира в океан (D) оценивается в 3 млрд. т в год. (В связи с невысокой точностью, величины компонентов уравнения баланса вещества суши даются с округлением до 1 млрд. т в год).

Баланс эоловой (ветровой) денудации-аккумуляции (V) оценивается в 2–4 млрд. т в год выноса материала с континентов на поверхность океана. Примем в среднем величину 3 млрд. т.

Величина выноса твердого материала в океан в результате ледниковой денудации (I) оценивается в 2 млрд. т в год.

Абразия морских берегов с выносом материала в океан (A) меньше рассмотренных выше составляющих и, по весьма приближенной оценке, не превышает 1 млрд. т в год.

Вынос лавы и пепла на поверхность суши при извержениях вулканов (G) составляет приблизительно 1-2 млрд. т в год. Породы, сформировавшиеся в недрах Земли, достигают в процессе большого круговорота вещества верхних слоев литосферы, где они подвергаются процессу выветривания, вступая в химические реакции с кислородом, углекислым газом и водой. В результате масса вновь формирующихся пород (W) увеличивается примерно на 1 млрд. т в год.

При образовании карбонатных осадочных пород из атмосферы поглощается углекислый газ, и таким образом масса осадочных пород увеличивается (B). Среднее содержание соединений углерода в осадочных породах Земли составляет 0,2-0,95% по весу. Величина биогенной аккумуляции в массиве всей суши мира – 1 млрд. т в год.

Интенсивность поступления вещества из космоса (K) пренебрежимо мала: на 3–4 порядка меньше интенсивности обсуждавшихся выше процессов преобразования земного вещества и потому в дальнейших расчетах не учитывается.

Процессы и величины сжигания топлива человеком (C). В атмосферу поступает (а литосферу, следовательно, покидает) вследствие сжигания горючих ископаемых $5,5 \pm 0,5$ млрд. т углерода в год.

Баланс минерального вещества суши мира (млрд. т в год)

Расход

Твердый сток (S)	20
Сток растворенных веществ (D)	3
Вынос ветром (V)	3
Вынос с ледниками (I)	3
Вынос за счет абразии морских берегов (A)	3
Сжигание горючих минеральных ископаемых (C)	6
Всего:	35

Приход

Накопление продуктов вулканической деятельности (VI)	1-2
Увеличение массы суши при процессах выветривания (W)	1
Биогенная аккумуляция	1
Всего:	4

Как видим, денудация и снос с суши мира за текущий период геологической истории Земли значительно преобладают над аккумуляцией. Основную роль в сносе вещества играют текущие воды, переносящие речные наносы и растворенные вещества. В сумме они составляют около 2/3 всего выноса материала.

5.3. Антропогенное воздействие на экзогенные процессы

Эрозия и седиментация играют выдающуюся роль в наземном, экзогенном звене большого (геологического) цикла вещества. В разделе, посвященном педосфере, уже говорилось о решающем влиянии сельского хозяйства на увеличение эрозии почв. Оценки автора показали, что вследствие распашки земель эрозия почвы увеличилась не менее чем в пять раз по сравнению с естественным смывом почвы. Если все пригодные к земледелию почвы будут распаханы, то почвенная эрозия увеличится, но всего лишь в 1,7 раза по сравнению с настоящим временем. Этот вывод указывает на то, что эрозия почв – в большей степени проблема современности, чем будущего.

Поскольку основные резервы земель под пашню располагаются в пределах экваториального, субэкваториального и тропического поясов, именно там можно ожидать дальнейшего увеличения эрозии, если эти земли действительно будут когда-либо распаханы. О проблемах, связанных с дальнейшим освоением земель под сельское хозяйство в тропиках мы уже говорили выше.

Наибольшее увеличение эрозии почв вследствие распашки земель отмечается в районах достаточного увлажнения умеренного пояса, где она выросла более чем в 30 раз по сравнению с естественным процессом эрозии. В этих районах почти не осталось резервов пахотных земель, и потому это проблема настоящего времени, причем весьма острая. Переход наименее продуктивной пашни в залежные земли, характерный для некоторых развитых стран, приводит к снижению эрозии почв и стока наносов.

Анализ данных по *стоку наносов* 3600 рек мира, выполненный А.П. Дедковым и В.Т. Мозжериным, указывает на значительное антропогенное усиление стока наносов.

	Малые ($<5000 \text{ км}^2$)	бассейны Большие ($>5000 \text{ км}^2$)	бассейны Все ны
Равнинные реки (N = 1854)	13,0	8,1	10,0
Горные реки (N = 1811)	2,2	3,8	2,8

Водохранилища мира, заполняемые наносами рек, теряют ежегодно около 1% своего объема, или примерно 50 км^3 в год.

С другой стороны, сток наносов рек в океан снижается благодаря поглощению наносов водохранилищами. Например, Асуанское водохранилище поглощает около 100-130 млн. т наносов в год, и в нижний бьеф (то есть ниже

плотины) поступает менее 2% наносов, приходящих в водохранилище. Пониженное содержание наносов ниже Асуанской плотины приводит к усиленной русловой эрозии Нила. За первые восемь лет существования плотины русло Нила в нижнем бьефе врезалось на 40-80 см. Вследствие пониженного стока наносов, а также некоторого повышения уровня океана за последнее столетие, баланс вещества дельты Нила отрицательный. В результате внешний край дельты отступает, и теряются драгоценные и столь необходимые Египту сельскохозяйственные земли. С начала XX столетия расположенные на внешнем краю дельты мыс Росетта и мыс Дамьетта отступили соответственно на 2,5 и 3,0 км.

По-видимому, общая мировая картина антропогенного изменения стока наносов рек в Мировой океан неоднозначна. Похоже, что в некоторых регионах мира рост стока наносов вследствие увеличения антропогенной эрозии почв компенсируется аккумуляцией наносов в водохранилищах, тогда как в других регионах сток наносов продолжает увеличиваться. Надо также иметь в виду, что увеличение эрозии почв и транспорта материала внутри бассейнов рек может не полностью отражаться в росте стока наносов рек из-за значительного переотложения и накопления рыхлого материала в пределах бассейна. В целом, вероятно, можно говорить о некотором увеличении стока наносов рек в Мировой океан, и о необходимости дальнейших исследований.

Увеличивающаяся доля сжигания органических веществ в балансе наземной части литосферы, рост стока растворенных веществ и увеличение стока наносов внутри континентов предопределяют усиление взаимосвязи между литосферой (ее верхними этажами) и другими геосферами.

Глобальные антропогенные воздействия в литосфере проявляются также, наряду с процессами эрозии, в усилении интенсивности и повторяемости неблагоприятных экзогенных процессов, таких как оседание и провалы на поверхности земли, оползни, оплывины и сели.

Оседания и провалы грунта. Разумеется, не все проседания вызваны действиями человека. Достаточно вспомнить карстовые и суффозионные воронки естественного происхождения. Однако действия человека, такие как откачка воды, нефти или других жидкостей из горных пород, подземные выработки, уплотнение осадочных пород, протаивание мерзлых грунтов и многие другие, делают эти явления чаще встречающимися и более интенсивными. Известны случаи провалов крупных сооружений, например жилых домов, сопровождавшихся человеческими жертвами.

Многолетние откачки воды для нужд местных жителей непосредственно под населенными пунктами приводят к постепенному, но зачастую значительному проседанию поверхности земли в городах. Откачки обычно не компенсируются притоком воды с поверхности в результате ее использования и протечками из водоразводящих систем. В результате в крупных городах, стоящих на осадочных породах, таких как Мехико, Бангкок, Токио и многих других, просадки распространяются на большие площади и достигают 8-10 м, а в отдельных случаях и больше. Москва также подвержена значительной опасности крупных просадок грунтов в результате неблагоприятных инженерно-геологических условий, осложняемых антропогенной деятельностью.

Города часто расположены на приустьевых равнинах, едва возвышающихся над уровнем моря, и проседание грунта на несколько метров вызывает необходимость защиты городских кварталов от затопления. Оседание поверхности земли начинается с локальных очагов, но постепенно охватывает площади до 10-15 тыс. кв. км при понижении поверхности со скоростью до 20 см/год, достигая глубины 7-9 м.

Оседания грунта очень разнообразны как по причинам, так и по характеру их проявления. Всемирный ущерб может быть оценен миллиардами долларов ежегодно. Среди результатов – разрушенные плотины, испорченные железные и автомобильные дороги, ставшие ненадежными мосты, потрескавшиеся здания, деформированные оросительные каналы и т.п.

Обвалы и оползни – другая категория неблагоприятных явлений экзогенного происхождения. Устойчивость склонов зависит не только от конкретных инженерно-геологических и геоморфологических условий места, но также и от состояния природной среды большей территории, включающей проблемный участок. Соответственно и методы предотвращения неприятной проблемы должны быть комбинацией локальных, конкретных решений в сочетании с более широкими, ландшафтоведческими подходами.

Сели требуют для своего возникновения в селевом бассейне комбинаций трех основных условий: достаточного количества рыхлого материала и воды при значительном уклоне. Частота и размеры селей в некоторой степени зависят от деятельности человека. Основной канал антропогенного воздействия – накопление рыхлого материала, доступного действию воды. Факторами усиления селеобразования может быть вырубка лесов, подрезка склонов дорогой, трубопроводом или другими инженерными сооружениями.

Вопросы по Главе 5:

1. Что такое литосфера?
2. Каково строение литосферы?
3. Опишите Большой геохимический круговорот веществ.
4. Дайте характеристику основным антропогенным воздействиям на экзогенные процессы.

Глава 6

Биосфера и ландшафты Земли. Влияние деятельности человека

6.1. Основные особенности биосферы и ее роль в экосфере

В научной литературе встречаются несколько понятий, обозначаемых термином «биосфера». В особенности распространены два понятия. Согласно одному, более широкому, биосфера - это область существования живого вещества вместе со средой его обитания. В этом смысле биосферу понимал В.И. Вернадский, и в этом же смысле оно часто встречается в литературе, в особенности популярной. Понятие «биосфера» во многом совпадает с понятием географической оболочки, или экосферы. В более узком смысле биосфера – одна из геосфер Земли. Это область распространения живого вещества.

Биосфера сконцентрирована в основном в виде относительно тонкой пленки на поверхности суши и преимущественно в верхних слоях океана. Она не может функционировать без тесного взаимодействия с атмосферой, гидросферой и литосферой, а педосфера без живых организмов просто не существовала бы.

Наличие биосферы отличает Землю от других планет Солнечной системы. Особо следует подчеркнуть, что именно биота, то есть совокупность живых организмов мира, создала экосферу в том виде, как она есть, и именно биота играет важнейшую роль в стабилизации экосферы. Кислородная атмосфера, глобальный круговорот воды, ключевая роль углерода и его соединений связаны с деятельностью биоты и характерны только для Земли. Биота играет значительную, если не определяющую роль во всех глобальных биогеохимических циклах. В основном благодаря биоте обеспечивается гомеостазис экосферы, то есть способность системы поддерживать ее основные параметры, несмотря на внешние воздействия, как естественные, так и антропогенные.

Напомним, что главным процессом образования органического вещества является фотосинтез. Процесс фотосинтеза, то есть создания живого вещества из неживого, обеспечивает устойчивое образование важнейшего из природных ресурсов – первичной биологической продукции.

Величина первичной биологической продукции – это общее количество органического вещества, создаваемого в ходе фотосинтеза за единицу времени (обычно за год) на определенной площади. Как правило, в литературе рассматривается «чистая» первичная биологическая продуктивность, представляющая общую биопродуктивность за вычетом расходов синтезированного органического вещества на дыхание растений.

Величины биопродуктивности выражаются обычно или в массе органического вещества (в сухом состоянии), или в массе содержащегося в нем углерода. Средний коэффициент пересчета от массы органического вещества к массе углерода составляет 0,45, а чтобы получить величину массы органического вещества из массы углерода необходимо последнее умножить на 2,2. Удельная величина биологической продуктивности выражается обычно в г/м² или в т/км²

за год, а в российской литературе также и в центнерах с гектара за год.

Вследствие сложностей расчетов или полевых измерений биомассы и ее прироста, величины биопродуктивности, полученные различными исследователями, заметно различаются. Для суши мира она составляет в год около 130 млрд. т органического вещества, или около 60 млрд. т углерода. Для Мирового океана эти величины, соответственно, 90 млрд. т и 40 млрд. т. Общемировая величина «чистой» первичной биологической продуктивности составляет 220 млрд. т за год в органическом веществе, или приблизительно 100 млрд. т углерода. Средняя для мира удельная биологическая продуктивность составляет приблизительно 430 г/м^2 , или 43 ц/га. Средняя для всей свободной от ледников суши удельная продуктивность органического вещества равна около 1000 г/м^2 , или 100 ц/га. Для океана эта величина равна 250 г/м^2 , или 25 ц/га.

Фитомасса составляет подавляющую часть биомассы суши, а масса лесов представляет 87% фитомассы. Большая часть массы живого вещества находится на суше, но вследствие большего, чем на суше, количества беспозвоночных и микроорганизмов, отличающихся более высокой скоростью метаболизма, океан производит за год лишь вдвое меньше первичной биологической продукции, чем суша.

Общая масса живого вещества Земли составляет величину около 1300 млрд. т, или 590 млрд. т углерода. Общая масса неживого органического вещества в биосфере оценивается в 3200 млрд. тонн, что приблизительно соответствует 1300 млрд. т углерода (Д. Алькамо, 1994).

Первичная биологическая продукция является основой жизнедеятельности большинства живых существ. Она расходуется на питание на всех трофических уровнях экологической пирамиды. В предшествующих главах мы уже говорили, что баланс углерода как для экосферы в целом, так и для первичных (незатронутых человеком) экосистем замыкается с весьма высокой степенью точности. Можно сказать, что в масштабе времени до 1000 лет для первичных экосистем существует квазистационарный баланс источников и стоков.

Результирующая баланса за год в этом масштабе времени составляет весьма малую величину, как правило, всего лишь около 0,1% от биопродуктивности, но именно она предопределяет естественную эволюцию экосистем. *Остаточный член баланса органического вещества (или баланса углерода) называется чистой экосистемной продуктивностью.* Если экосистемная продуктивность положительна, то это указывает на накопление углерода в экосистеме, и наоборот.

Вследствие деятельности человека величина экосистемной продуктивности углерода (то есть степени разомкнутости его баланса в экосистеме) возрастает и начинает оказывать решающее влияние на глобальные геоэкологические процессы. Например, вследствие антропогенного преобразования экосистем, главным образом в тропической и экваториальной зонах, в атмосферу из ландшафтов Земли (то есть из биосферы) выносятся $1,6 \pm 1,0$ млрд. т углерода в год, что составляет 3% первичной продукции, что говорит о высокой степени разомкнутости баланса углерода и органического вещества экосферы.

Расчеты по одной из моделей современного цикла углерода для суши по-

казали, что при глобальной чистой первичной продукции экосистем суши равной 60,6 млрд. т углерода в год экосистемная продукция составила 2,4 млрд. т углерода, или 4% первичной продукции. На 2050 г. ожидается, что вследствие изменения климата чистая первичная продукция увеличится и составит 82,5 млрд. т в год при экосистемной продукции равной 8,1 млрд. т. Таким образом, степень разомкнутости увеличится до 10%, что указывает на прогрессирующее неблагополучие экосферы, в том случае, если стратегия человечества в отношении проблем геоэкологии не будет коренным образом изменена.

Процесс фотосинтеза – основа жизнеобеспечения на Земле, а его результат – биологическая продукция – важнейший возобновимый ресурс. Показано, что 220 млрд. тонн органического вещества в год – главный возобновимый ресурс экосферы, обеспечивающий сельское хозяйство, лесоводство, рыбное хозяйство и другие сектора экономики, связанные с использованием возобновимых природных ресурсов.

Еще более важна роль биологической продукции и биоты в целом в обеспечении устойчивого функционирования экосферы. Синтез и соответствующая ему деструкция органического вещества лежат в основе глобального биогеохимического цикла углерода, а в локальном плане – в основе устойчивости экосистем.

Антропогенное нарушение глобальных и локальных циклов углерода связано со многими факторами. Суммарная для мира первичная биологическая продуктивность неизменных человеком ландшафтов представляет, по видимому, верхний предел глобальной естественной биопродуктивности. Антропогенное воздействие, преобразующее ландшафты, приводит, как правило, к снижению биопродуктивности. Земледелие в мире использует 15 млн. км² земли, на которых выращивается примерно 2500 млн. т сельскохозяйственных продуктов (в сухом весе), то есть, при средней урожайности – 17 ц/га.

Значительна роль биоты в глобальном гидрологическом цикле. Поскольку живое вещество приблизительно на 90% состоит из воды, то ежегодно биота связывает во вновь фотосинтезированном органическом веществе 60 млрд. т углерода и около 500 км³ воды. В процессе синтеза органического вещества растительность пропускает сквозь себя на два порядка больше воды, чем то, которое, в конце концов, оказалось связанным в органическом веществе. Эта вода забирается растениями из почвенной влаги, участвует в функционировании растений, а затем транспирирует в атмосферу. Таким путем в биологическом звене глобального круговорота воды (гидрологического цикла) участвует около 30000 км³ воды в год. Это около 25% суммарного количества осадков, выпадающих на поверхность суши.

Величина солнечной энергии, используемой для построения органического вещества в процессе фотосинтеза, составляет 133×10^{12} ватт, что в 13 раз больше общемирового потребления энергии человеком, но всего лишь 0,16% приходящей к поверхности Земли солнечной радиации. Отношение затрат энергии на синтез биомассы к общему количеству поглощенной солнечной радиации находится в пределах от 0,1% до 1%, а в среднем около 0,5%.

Величина коэффициента использования солнечной радиации для синтеза

первичной продукции на первый взгляд кажется весьма низкой. Некоторые специалисты рассматривают повышение первичной биологической продуктивности как один из важнейших путей решения фундаментальных проблем человечества, таких как обеспечение продовольствием или энергией. Казалось бы, решить эту задачу можно посредством увеличения доли ассимилируемой солнечной энергии. Однако усилия в этом направлении пока безуспешны, и можно полагать, что природа не случайно «установила» столь низкий к.п.д., потому что антропогенная разбалансированность этого соотношения может привести к серьезным нарушениям глобального баланса углерода и, как следствие, к нарушениям устойчивости экосферы.

Передача энергии в пределах экологической пирамиды от первичной биологической продукции к более высоким уровням сопровождается значительными потерями энергии. Отношение биомассы организмов к количеству потребляемого ими органического вещества обычно не превышает 10-20%. При перемещении к более высоким трофическим уровням это приводит к быстрому сокращению биомассы и потребляемой ею энергии. В природных экосистемах с одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой, более высокий ее уровень в среднем не более 10% энергии.

Еще более жесткое соотношение обуславливает устойчивость природных систем: эмпирически установлено, что изменение энергетики системы в пределах всего лишь 1% выводит ее из равновесного (квазистационарного) состояния. Не случайно доля суммарной радиации, используемой для устойчивого процесса фотосинтеза, составляет 0,16% приходящей суммарной солнечной радиации.

В.Г. Горшковым было установлено, что в пределах биосферы биота сохраняет способность контролировать условия окружающей среды, если человек в процессе своей деятельности использует не более 1% чистой первичной продукции биоты. Остальная часть продукции должна распределяться между видами, выполняющими функции стабилизации окружающей среды. Следовательно, с точки зрения человечества, биота представляет собой механизм, обеспечивающий человека питанием (энергией) с коэффициентом полезного действия 1%, а 99% идет на поддержание устойчивости окружающей среды.

Если рассматривать человека как биологический вид, находящийся на вершине экологической пирамиды, то ему, по законам биологической экологии, полагалось бы на питание лишь несколько процентов производимой на суше первичной биологической продукции, то есть порядка 10 млрд. тонн в год. Фактически, благодаря использованию пашни, пастбищ и лесов, человек поглощает сельскохозяйственные и лесные продукты общей массой 31 млрд. т. Кроме того, вследствие деятельности человека, современная первичная продуктивность меньше исходной на 27 млрд. т, проявляющейся в деградации естественных ландшафтов и превращении естественных экосистем в антропогенные. Тогда общее количество потребляемой и разрушаемой человеком биомассы суши равно 58 млрд. т в год, или почти 40% первичной биологической продукции суши. Эти величины, полученные в 1986 г. П. Витусеком с соавторами (США), стали широко известны в мире среди специалистов как еще один пока-

затель глобального экологического кризиса. Менее известно, что подобные результаты получены В.Г. Горшковым в России еще в 1980 г.

Очевидно, что потребление первичной биологической продукции человеком превосходит все мыслимые пределы уже сейчас. При дальнейшем росте населения мира его потребности можно будет удовлетворять только за счет потребностей других живых организмов, а это неизбежно, рано или поздно, приведет к катастрофической деградации биосферы и, следовательно, и экосферы в целом. В проблемах деградации биосферы есть два наиболее серьезных аспекта: во-первых, чрезмерное, не соответствующее установленному природой уровню антропогенное поглощение и разрушение возобновимых биологических ресурсов и, во-вторых, снижение роли биосферы в стабилизации состояния экосферы. Обе проблемы чрезвычайно серьезны, но, вероятно, вторая проблема более важна, потому что она затрагивает основные, глубинные, системные процессы функционирования экосферы. Можно считать, что величина антропогенной доли поглощения и разрушения первичной биологической продукции суши – важнейший геоэкологический индекс чрезвычайно неблагоприятного, кризисного состояния экосферы.

6.2. Современные ландшафты мира

Величина биологической продуктивности каждого участка земной поверхности зависит от соотношения тепла и влаги, поступающих к этому участку. Чем больше величина солнечной энергии, поглощаемой поверхностью земли (радиационного баланса), тем лучше условия для синтеза первичной биологической продукции. Однако это верно только в том случае, если этот участок получает оптимальное количество воды, то есть такое, когда количество осадков и величина испаряемости равны. Если осадков меньше, чем величина испаряемости, то биопродуктивность будет сдерживаться дефицитом влаги, и чем меньше влаги, тем хуже условия для прироста биомассы. А если осадков больше, чем может испариться, то переувлажнение почв также будет подавлять прирост.

Наибольшая величина первичной продуктивности характерна для влажных лесов экваториального пояса (около 4000 т/км^2 в год). Субтропические леса производят 2000 т/км^2 , а тайга – 700 т/км^2 . В этом ряду различных типов лесных ландшафтов определяющим фактором является тепло, то есть радиационный баланс.

Если взглянуть на картину распределения ландшафтов с точки зрения убывающего увлажнения, то саванны тропического пояса имеют биопродуктивность примерно 1500 т/км^2 , степи (в целом получающие меньше осадков по сравнению с саваннами) – около 900 т/км^2 , а пустыни – не более 200 т/км^2 .

Таким образом, не только величины тепла и влаги, но и их соотношение, предопределяют величину первичной биологической продукции и, в конечном итоге, формирование основных типов растительности. При этом можно видеть, что, например, леса произрастают в условиях достаточного или избыточного увлажнения, но в зависимости от поступающего тепла принимают различный облик. С другой стороны, при сокращении увлажнения растительность стано-

вится все более сухолюбивой, так что при одном и том же радиационном балансе, но убывающем количестве осадков, мы наблюдаем направленное чередование типов растительности: от влажного леса к саванне, затем к степи и, наконец, пустыне. Таким образом, распределение основных типов растительности не случайно, а подчиняется определенным закономерностям.

Им же подчиняются другие природные явления, такие как основные типы почв и геохимических процессов, особенности климата, водного баланса и режима, многие геоморфологические процессы и т.п. Это так называемый закон географической зональности, обобщенный М.И. Будыко и А.А. Григорьевым.

Закон географической зональности позволяет описать не только пространственное распределение основных черт зональных процессов, но и их сочетаний в виде природно-территориальных комплексов, или ландшафтов в том виде, какие сейчас существовали бы на Земле, если бы на ней не действовал человек.

Деятельность человека весьма значительно преобразовала первичные, или потенциальные ландшафты Земли. Значительные массивы земель (в прошлом степи, леса, саванны и пр.) были распаханы. Многие безлесные типы ландшафтов подверглись глубоким преобразованиям под влиянием продолжительного выпаса скота или антропогенных пожаров. Большие площади лесов вырублены, а часть первичных лесов сменилась вторичными.

На 20-30% площади суши человек преобразовал ландшафты практически полностью. На территориях с высокой плотностью населения естественные экосистемы почти не сохранились. Вместо этого, их территории на 40-80% заняты сельскохозяйственными землями, населенными пунктами, дорогами, промышленными сооружениями и прочими результатами деятельности человека. На остальной части встречаются вторичные или специально выращиваемые леса, деградировавшие земли, и водохозяйственные системы, находящиеся, как правило, в далеко не идеальном состоянии. При этом внешне такие территории могут выглядеть благополучно (что и наблюдается, например, в Западной Европе или США), но фактически это области дестабилизации экосферы.

Территорий, совсем неизмененных человеком, в мире не осталось. Даже в отдаленных от центров экономической деятельности областях, таких как Антарктида или северо-восток нашей страны, выпадения химических веществ из атмосферы изменили, хотя и в малой степени, первоначальное, доантропогенное состояние ландшафтов Земли.

И все же большие территории на Земле остаются почти нетронутыми. Они играют огромную, общепланетарную роль в сохранении гомеостаза экосферы, и потому должны рассматриваться как ценнейшее достояние всего человечества.

По степени антропогенной трансформации современные ландшафты Земли могут быть разделены на две большие группы:

- 1) Коренные (или первичные);
- 2) Природно-антропогенные.

В свою очередь, ландшафты второй группы делятся на: вторично-производные, антропогенно-модифицированные и техногенные.

Коренные (первичные) ландшафты – это зональные типы ландшафта, не подвергшиеся прямому воздействию хозяйственной деятельности, то есть практически не трансформированные.

Эта категория включает ландшафты ледниковых пустынь, некоторых тропических пустынь, подавляющую часть высокогорных районов, а также значительные части ландшафтов бореальных лесов (то есть лесов умеренного пояса Северного полушария) и тундры. Сюда относятся также заповедники и другие, строго охраняемые территории. Ряд исследователей рассматривает первичные (коренные) ландшафты как важнейший природный ресурс, играющий важную роль в экологической стабилизации экосферы. В этой связи надо отметить, что Россия обладает наибольшей в мире площадью свободных ото льда коренных ландшафтов.

Вторично-производные ландшафты – это природно-антропогенные ландшафты, сформировавшиеся на месте первичных в результате хозяйственной деятельности в настоящем или прошлом, существующие в относительно устойчивом состоянии на протяжении десятилетий или первых столетий благодаря естественным процессам саморегулирования.

Такие ландшафты отличаются хозяйственной деятельностью средней интенсивности, или же в малоизмененном ландшафте встречаются отдельные пятна высоко интенсивной деятельности. Общим для всех ландшафтов этой категории является видимое преобладание значительно измененных человеком сообществ растительности (вторичной растительности). Наряду с этим происходят изменения особенностей почв, микроклимата и других компонентов ландшафта.

К категории *антропогенно-модифицированных ландшафтов относятся ландшафты с весьма высокой степенью трансформации.* В них антропогенные изменения отличались большей скоростью, чем природные вариации географических условий. Эти ландшафты управляются, с одной стороны, как природные системы, а с другой стороны, они в очень большой степени зависят от деятельности человека.

В эту категорию входят, прежде всего, сельскохозяйственные модификации ландшафтов: поля (орошаемые и неорошаемые), огороды, сады, плантации и пастбища разного типа. Сюда относятся также территории интенсивного, целенаправленного выращивания древесины (силвикультура). К категории антропогенно-модифицированных ландшафтов относятся также охраняемые рекреационные области и парки.

Техногенные ландшафты – это природные системы, управляемые преимущественно деятельностью человека. Это городские системы со всей городской и пригородной инфраструктурой: жилые кварталы, улицы и площади, места отдыха, промышленные зоны, пути сообщения, системы жизнеобеспечения (водоснабжение и канализация, сбор и переработка мусора, энергоснабжение и отопление) и пр. Это места добычи и переработки минеральных ресурсов (карьеры, шахты, нефтяные промыслы и пр.). Это ландшафты гидротехнических сооружений (плотины, водохранилища, каналы, насосные станции и т.д.) с прилегающими акваториями и территориями.

По типам деятельности человека антропогенные ландшафты могут быть разделены на следующие категории:

- ландшафты районов неорошаемого земледелия;
- ландшафты районов орошаемого земледелия;
- пастбищные ландшафты;
- лесохозяйственные ландшафты;
- горнопромышленные ландшафты;
- урбанизированные ландшафты;
- рекреационные ландшафты.

Анализ особенностей каждого типа антропогенных ландшафтов выполнен Л.И. Кураковой (1976).

Основные особенности антропогенной трансформации ландшафтов и экосистем заключаются в следующем:

- Система из почти полностью замкнутой превращается в открытую, главным образом вследствие отчуждения биомассы в виде продукции, используемой человеком. Степень открытости системы является индикатором степени ее антропогенного преобразования;

- Увеличивается однообразие ландшафтов. Снижение внутриландшафтного разнообразия также может быть индикатором антропогенной трансформации;

- Продуктивность ландшафтов снижается в прямой (нелинейной) зависимости от интегрального антропогенного давления за определенный интервал времени;

- Чем выше интегральное антропогенное давление, тем в большей степени нарушено эволюционное развитие ландшафтов и экосистем;

- Химическое равновесие, сложившееся в ландшафтах и экосистемах в процессе их эволюции в доантропогенную эпоху, нарушено. Антропогенные потоки химических элементов и их соединений часто на один-два порядка превышают уровень естественных потоков химических веществ;

- В особенности интенсифицировались потоки биогенных веществ;

- Происходит непрерывная трансформация земельного фонда.

Общей особенностью ландшафтов мира является ухудшение их состояния (деградация), выражающееся, прежде всего, в снижении их естественной биологической продуктивности. При этом главные процессы – это *обезлесение* в сравнительно влажных ландшафтах и *опустынивание* в относительно сухих ландшафтах. Природные условия, благоприятные для развития этих двух процессов имеются на более чем 90% территории суши без ледников, а антропогенные воздействия превращают эту возможность в реальность.

Обезлесение. Леса играют важнейшую роль в формировании как глобального цикла воды, так и глобальных биогеохимических циклов таких элементов как углерод и кислород. Леса мира регулируют важные особенности климата и водного режима мира. Экваториальные леса являются особенно важным резервуаром биологического разнообразия, сохраняя 50% видов животных и растений мира на 6% площади суши. Вклад лесов в мировые ресурсы не только значителен количественно, но и уникален, поскольку леса это источник древесины,

бумаги, лекарств, красок, каучука, плодов и пр.

Леса с сомкнутыми кронами деревьев занимают в мире 28 млн. км² при примерно одинаковой их площади в умеренном и тропическом поясе. Что касается лесов с разомкнутыми кронами различной площади проективного покрытия, то граница между лесом и не лесом может быть проведена лишь весьма условно, и критерии выделения лесов различаются. Согласно Международной организации по продовольствию и сельскому хозяйству (ФАО), в 1995 г. естественные и саженные леса покрывали 26,6% свободной ото льда суши, или примерно 35 млн. км².

В результате своей деятельности человек уничтожил не менее 10 млн. км² лесов, содержащих 36% фитомассы суши. Главной причиной уничтожения лесов была потребность увеличить, вследствие роста численности населения, площади пашни и пастбища.

В то время как обезлесение умеренного пояса к настоящему времени в основном прекратилось, сокращение площади тропических и экваториальных лесов продолжается. Потери составляют около 11-20 млн. га в год.

Распространено мнение, что значительное обезлесение происходит в бассейне р. Амазонка. Однако оценки, выполненные различными исследователями на основе детального анализа спутниковых данных за 1978-1994 гг., показали, что скорость обезлесения была 15-20 тыс. км² в год, а общая потеря лесов с начала освоения территории, то есть приблизительно с 70-х годов XX века, составила около 6% от исходной площади леса, равной примерно 5 млн. км².

Существует много причин тропического обезлесения и комбинаций этих причин. Они различаются от страны к стране и от места к месту. В ряде стран, в особенности в бассейне Амазонки, имеются государственные программы хозяйственного освоения лесных территорий.

В лесах умеренного пояса наибольшие проблемы встречаются в Российской Федерации. Россия отличается наибольшей площадью лесов на Земле, достигающей 7,7 млн. км², что составляет 46% всех нетропических лесов мира.

Во многих районах России первичные леса замещены вторичными. Часть лесов страдает от кислотных осадков, в особенности вокруг городов. Леса России несут большие потери от пожаров и вредителей, распространяющихся на площадях около 1 млн. га в год.

Вследствие общемировой роли лесов в стабилизации экосферы нужен глобальный подход к управлению ими. Необходимо разработать и принять международную конвенцию по лесам, которая определила бы основные принципы и механизмы международного сотрудничества в этой области с целью поддержания устойчивого состояния лесов и его улучшения.

Один из компонентов этого сотрудничества успешно функционирует. Это Международная Организация по древесине, объединяющая как страны-потребители, так и страны-владельцы лесных ресурсов (не только тропического, но и умеренного пояса). Голоса стран-участников имеют различный вес, в зависимости от объема владения или потребления древесины.

Опустынивание. Существует неверное представление о том, что опустынивание это наступление пустынь на более продуктивные территории. На са-

мом деле Международная Конвенция по борьбе с опустыниванием, заключенная в 1994 г., дает следующее определение процесса опустынивания: «Опустынивание означает деградацию земель в засушливых ... районах, которая происходит вследствие различных факторов, включая колебания климата и деятельность человека». И далее: «Деградация земель означает сокращение или полную потерю ... биологической или экономической продуктивности ... неорошаемых и орошаемых земель, или же пастбищ и лесов, вследствие использования земель, или других действий, ведущих к таким процессам как ветровая и водная эрозия почв, ухудшение физических, химических и биологических свойств почв, и к долгосрочной потере естественной растительности».

Почвы районов опустынивания отличаются низким плодородием, что в сочетании с малыми и изменчивыми осадками приводит к тому, что биологическая продуктивность в районах значительного опустынивания не превышает 400 кг/га в год сухого вещества.

В соответствии с климатическими условиями пустыни должны занимать в мире площадь около 48 млн. км² (включая ледниковые покровы, то есть ледяные пустыни). Фактически, в соответствии с почвенно-ботаническими данными, их площадь достигает 57 млн. км². Разность между этими двумя цифрами, равная 9 млн. км², представляет антропогенные пустыни. Опустынивание различной степени развивается еще на 25 млн. км².

Около 3/4 аридных территорий Африки и Северной Америки подвержены деградации, то есть опустыниванию. Одна шестая часть населения мира живет в зоне угрозы опустынивания. В Российской Федерации опустыниванию подвержены территории, расположенные главным образом в бассейне Каспийского моря, в особенности Калмыкия.

Признаками опустынивания являются:

- сокращение степени покрытости почвы растительностью;
- увеличение отражательной способности (альбедо) поверхности почвы;
- значительная потеря многолетних растений, особенно деревьев и кустарников;
- деградация и эрозия почвы;
- наступание песков;
- засоление почв.

Все эти природные процессы типичны для аридных ландшафтов, и они регулируются естественным образом. Но когда они взаимосвязаны с действиями человека, многие изменения становятся необратимыми.

Опустынивание развивается вследствие неблагоприятного сочетания естественных и социально-экономических факторов.

Климат – один из важнейших естественных факторов формирования территорий различной степени опустынивания.

Эффективная борьба с опустыниванием должна основываться на глубоком понимании системы взаимодействующих естественных и социально-экономических факторов и, в конечном итоге, на стратегии социально-экономического преобразования стран, страдающих от опустынивания. Международная Конвенция по борьбе с опустыниванием – один из основных меха-

низмов участия всех стран мира в решении этой проблемы.

6.3. Проблемы сохранения биологического разнообразия Земли

Биологическое разнообразие – это совокупность всех форм жизни, населяющей нашу планету. Это богатство и многообразие жизни и ее процессов, включающие разнообразие живых организмов и их генетических различий, так же как и разнообразие мест существования, сообществ, экосистем и ландшафтов, в которых организмы существуют. Биологическое разнообразие делится на три иерархические категории: разнообразие среди представителей одних видов (то есть на уровне генов), между различными видами и между экосистемами.

Генетическое разнообразие чрезвычайно велико. Под ним понимаются вариации генов внутри видов. До недавних пор изменения генетического разнообразия исследовались преимущественно на породах домашних растений и животных, а также на популяциях отдельных видов, находящихся в ботанических садах и зоопарках. По-видимому, исследования глобальных проблем биологического разнообразия на уровне генов – дело будущего.

Что касается видового разнообразия, то до нынешнего времени подсчеты числа видов на Земле, выполненные различными авторами, различаются на порядок. Среди растений и хордовых животных описаны 85-90% видов, но во всех других таксонах описано много менее половины видов. Оценки общего числа видов, по данным различных авторов, находятся в пределах между 3,6 млн. и 112 млн. Столь большое различие связано преимущественно с тем, что число видов насекомых оценивается в пределах от 2 до 100 млн. видов, но даже если не принимать во внимание столь расходящиеся данные по насекомым, все равно уровень знания биологического разнообразия остается невысоким. Наиболее авторитетная оценка видового разнообразия, которая привлекла к этой работе около 1500 специалистов, выполнена в ЮНЕП в 1995 году. Согласно этой оценке, наиболее вероятное количество видов – 13-14 млн., из которых описаны лишь 1,75 млн., или менее 13%.

Наивысший иерархический уровень биологического разнообразия – экосистемный, или ландшафтный. Мелкомасштабные карты зональных типов ландшафтов мира или континентов по сути дела отражают это биологическое разнообразие высшего иерархического уровня.

Наибольшим видовым разнообразием отличаются следующие ландшафты (в убывающем порядке):

- влажные экваториальные леса;
- коралловые рифы;
- сухие тропические леса;
- влажные леса умеренного пояса;
- океанические острова;
- ландшафты средиземноморского климата;
- безлесные (саванновые, степные) ландшафты.

Богатство влажных экваториальных лесов особенно велико: например, на 200 га леса в Индонезии произрастает столько же видов деревьев, сколько их

имеется во всей внетропической Северной Америке. Не меньшим видовым разнообразием отличаются коралловые рифы.

В последние два десятилетия биологическое разнообразие стало привлекать внимание не только специалистов-биологов, но и экономистов, политиков, а также общественность, в связи с очевидной угрозой антропогенной деградации биоразнообразия, намного превышающей нормальную, естественную деградацию.

За последние 500 млн. лет на Земле было пять периодов массового исчезновения видов. Из них последний был примерно 65 млн. лет тому назад. Для восстановления биологического богатства каждый раз необходимо было примерно 10 млн. лет. В настоящее время, вследствие деятельности человека, имеется реальная опасность еще одного периода массового сокращения биологического разнообразия, но со скоростью, значительно превышающей как скорость в предшествующие периоды массового уничтожения, так и современную естественную скорость уничтожения и замещения видов.

Согласно «Глобальной оценке биологического разнообразия» (Global Biodiversity Assessment, UNEP, 1995), перед угрозой уничтожения стоят более чем 30000 видов животных и растений. Скорость исчезновения видов млекопитающих в XX столетии в 40 раз превышала максимальные скорости, зафиксированные в геологическом прошлом. За последние 400 лет исчезли 484 вида животных и 654 вида растений.

Причины современного ускоренного снижения биологического разнообразия следующие:

- Быстрый рост населения и экономического развития, вносящие огромные изменения в условия жизни всех организмов и экологических систем Земли;
- Не принимаются во внимание долговременные последствия действий, разрушающих условия существования живых организмов, эксплуатирующих природные ресурсы и интродуцирующих неместные виды;
- Рыночная экономика не в состоянии оценить истинную стоимость биологического разнообразия и его потерь;
- Увеличение миграции людей, рост международной торговли и туризма;
- Усиливающееся и распространяющееся загрязнение природных вод, почвы и воздуха.

Существует много способов защиты биологического разнообразия. На уровне видов выделяются два основных стратегических пути: *in situ* (то есть в месте обитания) и *ex situ* (вне места обитания).

Стратегия *in situ* – основная. При ней отдельные виды или популяции охраняются законом, регулируется охота на них и торговля ими (в том числе международная), разрабатываются и осуществляются стратегии по охране отдельных, наиболее ценных и редких видов (например, носорог, уссурийский тигр), или стратегии по реинтродукции видов в дикую природу (лошадь Пржевальского, бизон, зубр). На уровне стран принимаются законы, регулирующие вопросы охраны диких животных и растений.

При стратегии *ex situ* для сохранения ограниченного количества особей диких животных используются зоопарки, ботанические сады, аквариумы, кол-

лекции семян и микроорганизмов. Выпускаются также *Красные книги*, содержащие список видов, находящихся под угрозой исчезновения.

Охрана биоразнообразия на уровне видов – дорогой и трудоемкий путь, возможный только для избранных видов, но недостижимый для охраны всего богатства жизни на Земле. По-видимому, главное направление стратегии должно быть на уровне экосистем и таким образом, чтобы планомерное управление экосистемами обеспечивало бы и охрану биоразнообразия на всех трех иерархических уровнях.

Наиболее эффективный и относительно экономичный способ охраны биологического разнообразия на экосистемном уровне – создание охраняемых территорий. В соответствии с классификацией Всемирного союза охраны природы (IUCN), выделяются 8 видов охраняемых территорий:

1. *Заповедник*. Цель – сохранение природы и природных процессов в ненарушенном состоянии.

2. *Национальный парк*. Цель – сохранение природных областей национального и международного значения для научных исследований, образования и отдыха. Обычно это значительные территории, в которых использование природных ресурсов и другие материальные воздействия человека не допускаются.

3. *Памятник (достопримечательность) природы*. Это обычно небольшие территории.

4. *Управляемые природные резерваты*. Сбор некоторых природных ресурсов разрешается под контролем администрации.

5. *Охраняемые ландшафты и приморские виды*. Это живописные смешанные природные и окультуренные территории с сохранением традиционного использования земель.

В статистику по охраняемым территориям обычно включают земли категорий 1-5.

6. *Ресурсный резерват, создаваемый чтобы предотвратить преждевременное использование территории*.

7. *Антропологический резерват (резервация), создаваемые для сохранения традиционного образа жизни коренного населения*.

8. *Территория многоцелевого использования природных ресурсов, ориентированная на устойчивое использование вод, леса, животного и растительного мира, пастбищ и для туризма*.

Имеются еще две дополнительные категории, накладывающиеся на вышеперечисленные восемь:

9. *Биосферные заповедники*. Создаются с целью сохранения биоразнообразия. Включают несколько концентрических зон различной степени использования: от зоны полной недоступности (обычно в центральной части заповедника) до зоны разумной, но достаточно интенсивной эксплуатации.

10. *Места всемирного наследия*. Создаются для охраны уникальных природных особенностей мирового значения. Управление осуществляется в соответствии с Конвенцией по всемирному наследию.

В России различаются следующие категории охраняемых территорий:

- *государственные природные заповедники, в том числе биосферные;*

- национальные парки;
- природные парки;
- государственные природные заказники;
- памятники природы;
- дендрологические парки и ботанические сады;
- лечебно-оздоровительные местности и курорты.

Всего в мире в 1994 г. было 9793 охраняемых территорий категорий 1-5 по классификации IUCN общей площадью 9,6 млн. км², или 7,1 % от общей площади суши (без ледников).

Цель, которую ставит перед мировой общественностью Всемирный Союз охраны природы – добиться расширения охраняемых территорий до размеров, составляющих 10% площади каждой крупной растительной формации (биома) и, следовательно, мира в целом. Это способствовало бы не только охране биоразнообразия, но и повышению устойчивости экосферы в целом.

В Северной и Центральной Америке имеется 2549 охраняемых территорий, занимающих 10,2 % площади континента.

На территории России в 2014 г. было 104 заповедника общей площадью более 340 тыс. км². В России имеются также 43 национальных парка (суммарная площадь территории которых составляет более 110 тыс. км²), 70 федеральных природных заказников (суммарная площадь 60 тыс. км²), почти 12000 заказников регионального значения, 39 памятников природы федерального значения (общей площадью 280 км²) и более 9 тыс. памятников природы регионального значения (41,5 тыс. км²).

Стратегия расширения числа и площади охраняемых территорий находится в противоречии с использованием земли для других целей, в особенности имея в виду растущее население мира. Поэтому для охраны биологического разнообразия необходимо, наряду с охраняемыми территориями, в возрастающей степени совершенствовать использование «обычных», заселенных земель и управление популяциями диких видов, причем не только исчезающих, и местами их обитания на таких землях. Необходимо применять такие приемы как зонирование территорий по степени использования, создание коридоров, соединяющих массивы земель с меньшим антропогенным давлением (например, леса), сокращение степени фрагментации очагов биоразнообразия, управление экотонами (пограничными зонами между различными элементами ландшафта), сохранение природных переувлажненных земель, управление популяциями диких видов и местами их обитания.

Весьма эффективным может быть биорегиональное управление значительными территориями и акваториями, в особенности, если такие территории полностью или частично относятся к категории охраняемых. К ним относятся, например, Йеллоустонский национальный парк в США, Большой Барьерный риф в Австралии, национальный парк Серенгети в Танзании и др.

К эффективным способам защиты биологического разнообразия относятся и международные соглашения, общее число которых в области охраны биоразнообразия весьма значительно. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (1992 г.) приняла *Международную конвенцию по охране биологического*

разнообразия, являющуюся центральной и важнейшей в этой области. Этот всеобъемлющий документ, обязательный к исполнению участниками Конвенции, ориентирован на вопросы использования и охраны биоразнообразия. Он требует, чтобы страны-участницы разработали и осуществляли стратегию устойчивого использования и защиты биоразнообразия. Конвенция обеспечивает форум для продолжения дискуссий по вопросам биоразнообразия.

Важным соглашением является *Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой уничтожения* (CITES). К Конвенции присоединились более ста государств. Существует также ряд других конвенций, охраняющих различные аспекты биологических ресурсов и биоразнообразия: *Конвенция по охране мигрирующих видов диких животных*, *Конвенция по охране водно-болотных угодий*, *Конвенция по защите китов* и др. Наряду с глобальными конвенциями существуют и многочисленные региональные и двухсторонние соглашения, регулирующие конкретные вопросы биоразнообразия.

К сожалению, пока можно констатировать, что, несмотря на многочисленные меры, ускоренное снижение биологического разнообразия мира продолжается.

Вопросы по Главе 6:

1. Что такое биосфера?
2. Раскройте основные особенности биосферы и ее роль в экосфере.
3. Опишите основные современные ландшафты Мира.
4. Каковы основные проблемы сохранения биологического разнообразия Земли?
5. Опишите основные пути сохранения биологического разнообразия.
6. Какие ООПТ существуют?
7. Опишите основные особенности отдельных категорий ООПТ.

Глава 7

Природно-техногенные системы

В результате деятельности человека за всю историю его существования, и в особенности за последние 50-100 лет, на Земле сформировались такие системы, в которых большую, если не определяющую роль играют не только естественные, но и техногенные процессы. Эти системы можно назвать природно-техногенными. К ним относятся разнообразные городские и сельские поселения, сельскохозяйственные системы, отдельные промышленные предприятия и индустриальные зоны, транспорт и транспортные коммуникации, энергетические системы, горнорудные предприятия вместе с зонами их влияния, рекреационные системы и др.

Природно-техногенные системы (ПТС) существенно преобразовали ту природу, которая была до появления человека. Уже в древнем Риме горнопромышленные предприятия заметно влияли на состояние окружающей среды. Несмотря на то, что ПТС и сейчас обычно занимают относительно небольшую площадь, их влияние на экосферу и ее составные части весьма велико.

Природно-техногенные системы отличаются двойственностью, как это видно из самого термина. С одной стороны, первоначальные природные их особенности в значительной степени изменены, и состояние ПТС определяется антропогенной нагрузкой на них. С другой стороны, основные особенности их функционирования во многом зависят от природных условий, в которых эти системы размещаются. Основные компоненты ландшафта, такие как рельеф, геологическое строение, климат и до некоторой степени природные воды сохраняют свои основные особенности и в пределах ПТС, оказывая решающее влияние на состояние природно-техногенной системы. Даже в больших и древних городах (как, например, в Москве), несмотря на продолжительную и интенсивную антропогенную нагрузку, первоначальные естественные черты просвечивают сквозь позднейшие антропогенные наслоения.

Геоэкологические проблемы природно-техногенных систем также двойственны. Они несут в себе как антропогенные, так и естественные черты. В самом деле, многие геоэкологические проблемы горнопромышленных городов похожи, потому что тип производства, характер и уровни загрязнения среды подобны. Но они в то же время могут весьма сильно отличаться друг от друга, потому что их природные условия (геолого-геоморфологические и гидроклиматические) могут быть столь же различны, сколь различаются, например, Кольский полуостров и юго-восточная Бразилия.

Отличительная особенность геоэкологического взгляда на ПТС заключается в том, что главным объектом геоэкологии является исследование взаимосвязей между собственно технической системой и пронизывающей ее природой, в то время как анализ экологических процессов на предприятии (транспортной системе, населенном пункте, сельскохозяйственном поле и пр.) относится к инженерии, агрономии, архитектуре и другим прикладным областям знания. Объектом геоэкологии может быть взаимодействие нефтепроводов и окружающей среды в Аравийской пустыне или Сибирской заболоченной лесотундре на веч-

ной мерзлоте, тогда как вопросы функционирования механизмов и инженерных систем в этих специфических природных условиях относятся к категории инженерной экологии. Однако четкую границу между инженерной экологией и геоэкологией природно-техногенных систем провести затруднительно.

7.1. Урбанизация

Одна из важнейших общемировых проблем – урбанизация, или быстрый рост городов и городского населения (табл. 7.1). Этот процесс относится к категории важнейших глобальных изменений. В 1996 г. городское население мира составляло 2,64 млрд. чел, или 46% всего населения. На фоне общего роста численности населения мира городское население за 1990-1995 гг. увеличивалось со скоростью 2,5% за год, тогда как сельское – всего лишь 0,8%. Ежедневно к городскому населению развивающихся стран мира добавляется около 150 тыс. чел.

Основные непосредственные причины роста численности городского населения:

- а) миграции людей в города из сельской местности, а также и из других стран;
- б) прирост населения в городах благодаря превышению рождаемости городского населения над его смертностью.

Рост численности городского населения в недавнем прошлом и на ближайшую перспективу столь же впечатляющий.

Таблица 7.1

Рост численности городского населения

Континент	Численность, млн. чел.			Доля городского населения, %		
	1975	1995	2025	1975	1995	2025
Африка	104	250	804	25	34	54
Европа	454	535	598	67	74	83
Сев. и Центр. Америка	235	332	508	57	68	79
Южн. Америка	138	249	406	64	78	88
Азия	592	1198	2718	25	35	55
Океания	15	20	31	72	70	75
Мир	1538	2584	5065	38	45	61

В развитых странах заметный рост доли городского населения отмечался приблизительно столетие тому назад. За время текущего пятидесятилетия (1975-2025 гг.) доля городского населения этих стран увеличивается уже незначительно, приближаясь к верхнему пределу переходной (логистической) кривой. Но зато около 90% прироста численности городского населения происходит за счет развивающихся стран. Жители Африки и Азии, лишь третья часть которых живет сейчас в городах, к 2025 г. также перейдут отметку в 50%. Численность и доля сельского населения стабилизируется или будет уменьшаться, в зависимости от континента. С абсолютным преобладанием городского населения на всех континентах экосфера в целом станет другой, с относительно редким сельским населением и многочислен-

ными городами различных размеров, включая сверхкрупные, так называемые *мегаполисы*. Понимание этого переходного процесса в экосфере в его взаимосвязи с деятельностью общества – одна из важнейших проблем геоэкологии как междисциплинарного направления.

Величины прироста городского населения сильно изменяются от города к городу и от страны к стране. Наивысшие показатели, равные примерно 5% в год, характерны для беднейших, наименее развитых стран. В некоторых государствах (Буркина-Фасо, Мозамбик, Непал, Афганистан и др.) прирост городского населения достигал 7% в год. Напомним, что при таком показателе численность населения города удваивается всего лишь за 10 лет!

Вследствие большой численности населения развивающихся стран, даже небольшое увеличение показателя прироста означает значительное приращение численности.

Городское население растет не только в развивающихся странах, если имеются особые причины для его роста. Регионом со значительным современным ростом населения городов вследствие благоприятной экономической конъюнктуры на фоне мягкого климата является, например, северо-запад США (штаты Вашингтон, Орегон и частично Калифорния), где он обусловлен как миграцией из других районов США, так и иммиграцией из других стран бассейна Тихого океана. Текущий ежегодный прирост числа жителей региона достигает здесь 12% (90-е годы XX века).

Чрезвычайным, хотя и все более типичным явлением, становятся крупнейшие города – мегаполисы. Фактически во всех этих случаях мы имеем дело не с одним сверхкрупным городом, а с агломерацией городов и других населенных пунктов. Если принять за нижний уровень сверхгорода городские скопления населения численностью от 8 млн. чел., то в 1950 г. в мире было всего два таких мегаполиса – это Нью-Йорк с населением 12,3 млн. и Лондон с 8,7 млн. чел. К 1990 г. их стало 21, причем 16 – в развивающихся странах. В 2014 году насчитывалось 40 городских агломераций с численностью населения свыше 10 млн. человек.

Разумеется, численность города зависит также от административного решения по выбору его границ. Например, Париж и Москва в основном ограничены кольцевой дорогой, хотя городские кварталы продолжают и за кольцевой, в то время как Токио включает значительные города, фактически слившиеся со столицей.

Помимо отдельных сверхкрупных городов, возникли и так называемые *конурбации*, или скопления городов. В Японии на о.Хонсю городская застройка протягивается практически без перерывов от Токио до Кобе, более чем на 500 км, включая указанные города, и второй по величине город Японии – Осаку, и крупнейший порт страны, важный промышленный центр – Нагоя, а также и другие города. На восточном побережье США конурбация захватывает не менее значительную полосу городов, от Вашингтона до Бостона и включает Нью-Йорк, Филадельфию, Балтимор и др.

Многие города среднего размера растут быстрее, чем мегаполисы, со скоростью, заметно превышающей 5% в год. В результате возникает весьма много

городов с населением между 1 и 10 млн. чел. В 2014 году в Море насчитывалось 429 городов-миллионеров. Небольшие города, в которых живет около половины всего городского населения мира, также очень быстро растут.

Степень антропогенных преобразований городских территорий, в особенности мегаполисов, чрезвычайно высока. Природные городские ландшафты весьма примитивны. Это парки и скверы, редко леса антропогенного происхождения и побережья морей и рек. Из фауны сохранились отдельные виды птиц и животных в очень простых и неустойчивых экосистемах. Широко встречаются немногие, толерантные к человеку виды, паразитирующие на отходах деятельности человека. Это крысы, вороны, тараканы и др. Лишь литогенная основа остается наименее трансформированной, и климат изменяется в значительно меньшей степени, чем биогенные компоненты.

Ландшафты крупных городов не могут сохраняться устойчивыми без поддержки человека. Заброшенные или малоухоженные кварталы мегаполисов представляют собой наихудший вид антропогенной пустыни.

Природные условия, в которых города находятся, во многом определяют их геоэкологические проблемы. Загрязнение воздуха, характерное в зимнее время года для городов Средней Европы, Сибири, Северо-Восточного Китая, возникает благодаря инверсии температуры, вызывающей устойчивую стратификацию воздуха. Низкокачественный уголь, используемый для отопления во многих местах этих районов и выделяющий при сжигании большое количество загрязнителей воздуха, вносит свой вклад в эту проблему. Весьма высокое загрязнение воздуха в таких городах как Лос-Анджелес, Мехико и Сантьяго связано не только с большим количеством автомобилей в условиях инверсии температуры, но и вследствие расположения этих городов в межгорных котловинах, благоприятных для развития инверсий.

В городах умеренного пояса практически не встречается малярия не потому, что они располагаются в относительно богатых странах с высокими расходами на здравоохранение, а благодаря относительно прохладному климату, в котором возбудитель малярии не в состоянии пройти полный цикл развития.

Плотность населения городов – весьма репрезентативный показатель степени антропогенной нагрузки на эти системы, хотя она изменяется весьма сильно в зависимости от имущественного уровня, месторасположения, традиций, транспортных и других условий. В некоторых районах Шанхая и Калькутты плотность составляет 800-1000 чел./га, что можно сравнить с густотой заселения квартир и домов в богатых странах. Плотность населения Бангкока и Сеула также весьма высока и составляет 300-400 чел./га. С другой стороны, этот показатель для городов США обычно равен 70 чел./га и менее.

Как гигантские городские агломерации, так и менее крупные города – это зоны экологического бедствия различного вида и напряженности.

Геоэкологические аспекты урбанизации весьма различны в развитых и развивающихся странах. Чрезвычайно быстрый рост городов беднейших стран приводит к резко усиливающемуся давлению на окружающую среду. К тому же, все системы жизнеобеспечения, без которых город не может существовать, оказываются перегруженными, а их рост не поспевает за приростом населения.

К ним относятся системы водоснабжения, канализации, сбора и переработки мусора, снабжения электроэнергией и пр., а также системы образования, медицинской помощи и социального обеспечения. В результате создается обстановка, опасная для жизни и здоровья жителей городов.

В развитых странах некоторые важные геоэкологические проблемы городов в той или иной степени решены. Например, во многих городах за последние десятилетия улучшилось качество воздуха и воды. В Токио в 60-х годах XX века полицейские, управлявшие уличным движением, нуждались в кислородных масках. Сейчас состояние воздуха стало значительно лучше.

Городские системы потребляют, перерабатывают и превращают в отходы значительную массу воды, продовольствия и топлива. При этом города развитых стран отличаются повышенным потреблением всех услуг систем жизнеобеспечения. Среднестатистический житель Нью-Йорка потребляет втрое больше воды и производит в восемь раз больше мусора, чем житель Бомбея. Точно так же и уровень потребления услуг городских систем жизнеобеспечения в различных районах в пределах одного города резко зависит от уровня благосостояния его жителей.

Некоторое улучшение геоэкологического состояния городов развитых стран благоприятно для их жителей. Вместе с тем сами эти города оказывают неблагоприятное воздействие на состояние экосферы на уровне континентов или мира в целом. Расходование природных ресурсов и эмиссия парниковых газов на душу населения городов развитых стран намного превышает соответствующие показатели для беднейших городов развивающихся стран, так что в конечном итоге жители городов развитых стран вносят весьма заметный вклад в усиление глобальных геоэкологических проблем.

Говоря о геоэкологических проблемах городов, не следует забывать об их роли как центров, влияющих на антропогенную трансформацию значительных прилегающих территорий. Условия и причины могут быть различными. В Африке, где в отдельных странах до 90% населения все еще готовит себе пищу на дровах, все пригодные лесные ресурсы в радиусе 50-80 км от крупных городов истощены.

В зонах высокого загрязнения воздуха вследствие функционирования предприятий промышленности или энергетики растительность трансформирована или полностью уничтожена на десятки километров вокруг города или по направлению вдоль преобладающих ветров. Такова ситуация в Норильске и окрестностях, где весьма уязвимая естественная растительность практически уничтожена на расстоянии до 100 км от промышленных предприятий.

Все крупные города, располагающиеся на реках, вносят весьма заметный вклад в загрязнение воды этих рек, вплоть до полного уничтожения жизни в воде на многие километры вниз по течению. Отмечено много ситуаций, в особенности в тропиках, когда в реке, протекающей сквозь большой город, концентрация патогенных бактерий увеличивается на несколько порядков.

Несколько сотен крупных городов мира и тысячи более мелких вызывают локальное, пятнистое ухудшение состояния окружающей среды. Взятые вместе, они в очень заметной степени влияют на глобальную ситуацию. Это весьма ти-

пичный пример универсальной геоэкологической проблемы, имеющей локальное, но часто встречающееся распространение, и потому не менее важной.

В этой связи, наряду с «зеленой» программой, адресованной на глобальные проблемы, такие как изменение климата, озоновый слой или биологическое разнообразие, ряд международных организаций и экспертов выдвигают «коричневую» программу, которая включала бы проблемы бедности, загрязнения окружающей среды и экологической безопасности в городах. Такие программы решают практические вопросы улучшения качества жизни в городах, включая совершенствование систем водоснабжения, канализации, удаления и переработки отходов.

7.2. Энергетика

Энергетика – важнейшая сторона деятельности человека. Без использования энергии невозможны практически все другие его действия: извлечение и переработка природных ресурсов, производство промышленной продукции, транспорт, сельское хозяйство, освещение, отопление, здравоохранение и т.д. Эволюция общества и цивилизации происходила и происходит в тесном взаимодействии с развитием энергетики.

Энергия – важнейший товар в международной экономике, а надежное обеспечение стран источниками энергии стало важнейшей геостратегической проблемой XX столетия. Глобальные энергетические стратегии и проблемы системно взаимосвязаны с основными общемировыми вопросами, такими как рост численности населения, увеличение имущественных различий между отдельными слоями общества, распространение бедности, дефицит продовольствия и воды, состояние здоровья и здравоохранения, неудовлетворительное качество воздуха в городах, изменение климата, деградация экосистем, их ацидификация, распространение ядерного оружия и др. Из этого следует, что вопросы энергетики должны решаться таким образом, чтобы не ухудшилось состояние других глобальных проблем.

Общая мощность производимой или же потребляемой в мире энергии составляет 10 тераватт, или 10^{10} вт, и продолжает увеличиваться. Из этого количества около 90% энергии получают благодаря сжиганию угля, нефти и природного газа. По всей вероятности, этот показатель сохранится на ближайшие десятилетия, а количество производимой энергии будет все еще увеличиваться. Объем и доля атомной энергии, вероятно, останется на ближайшую перспективу скромной. Суммарная величина производимой гидроэлектроэнергии будет увеличиваться, но ее доля в производстве и использовании энергии останется небольшой.

Другие, преимущественно возобновимые источники энергии, такие как энергия солнца, ветра, морских приливов, волнения воды, разности температур поверхностных и глубинных слоев воды океана, специально выращиваемой биомассы, геотермальная энергия и прочие, несмотря на некоторые оптимистические прогнозы, не спешат занимать сколько-нибудь значительное место. Экономические и экологические удельные затраты на производство энергии из

возобновимых источников неуклонно снижаются, и имеются заметные достижения в их практическом использовании, хотя доля этих источников в мировом энергетическом балансе пока не достигает и 1%.

Производство и потребление энергии в мире, за редкими исключениями, неуклонно росли, в особенности в последние десятилетия. За 20 лет, с 1971 по 1991 гг., потребление энергии в мире увеличилось на 45%. Соответственно расходовались и запасы горючих ископаемых. Тем не менее, благодаря успешным поискам новых месторождений и их разведке, запасы продолжали увеличиваться. По состоянию на 1990 г., при современном уровне разведанных запасов и ежегодной добычи, угля хватило бы на 209 лет, нефти на 45 лет и природного газа на 52 года. Согласно докладу World Energy Resources 2013 разведанных запасов нефти может хватить только на 56 лет, а по данным Всемирного энергетического совета, озвученных в 2013 году, запасов угля должно хватит минимум на 270 лет.

Производство и использование основных источников тепловой энергии практически всегда сопровождаются неблагоприятными последствиями, влияющими на экосферу и на здоровье людей. Ожидаемый дальнейший рост производства и использования энергии приведет к еще большему усилению экологических проблем. Геоэкологические ограничения могут стать столь серьезными, что они станут диктовать основные элементы стратегии энергетики. В частности, мы уже обсуждали возможную ситуацию, когда не дефицит горючих ископаемых, а значительное ухудшение состояния экосферы приведет по необходимости к трансформации глобальной энергетики на основе возобновимых и экологически более чистых источников энергии. Геоэкологические вопросы энергетики уже излагались в соответствующих разделах настоящей работы и ниже лишь кратко остановимся на основных проблемах.

Опора в энергетике на использование горючих ископаемых и чрезвычайно высокая их доля в производстве энергии предопределяют специфический набор связанных с этим геоэкологических проблем. По объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу тепловая энергетика является наиболее крупной отраслью промышленности (27% от общего количества выбросов всей индустрии России). Составляющими выбросов в основном являются твердые частицы (31% от общего количества выбросов), диоксид серы (42%), оксиды азота (24%).

Современная ТЭЦ мощностью 1000 мвт выбрасывает в воздух за год 165 тыс. т газов и 500 тыс. т твердых частиц. Тепловое загрязнение, то есть неиспользуемый выброс тепла, составляет около 60% производимой энергии. Каждая ТЭЦ нуждается в 4 км² площади, не считая площадей для складов, подъездных путей, градирен, линий электропередач, свалок и др.

Загрязнение воздуха, ассоциирующееся со сжиганием нефти, угля и газа, неблагоприятно влияет на экосистемы и здоровье людей. Из трех основных источников тепловой энергетики более всего загрязнений и парниковых газов производится и выбрасывается в атмосферу в результате сжигания угля, и наименьшее – при сжигании газа. Кислотные осадки, возникающие как следствие функционирования тепловых электростанций, наносят ущерб экосистемам, а также урожаю, строениям, памятникам материальной культуры. Современная

энергетика является важнейшим фактором накопления в атмосфере парниковых газов и, следовательно, наиболее важной причиной антропогенного изменения климата.

Атомные электростанции несут с собой высочайший риск катастрофы вследствие выделения в экосферу радиоактивных изотопов. Как показывает печальный опыт Чернобыльской АЭС, радиоактивное загрязнение вследствие взрыва всего лишь одного атомного реактора нанесло невосполнимый ущерб жизни и здоровью людей, состоянию естественных и агроэкологических систем, по сути дела, вывело из нормального использования чрезвычайно большую территорию в пределах Белоруссии, России и Украины.

В атомной энергетике остаются нерешенными проблемы хранения и переработки радиоактивных отходов деятельности АЭС. Подошли также сроки выведения первых атомных станций (не только в России, но и в других странах мира) из эксплуатации. Поскольку неизвестно, что с ними делать дальше, они подлежат консервации. Как это делать безопасно и эффективно – пока еще плохо проработанная задача.

Основное направление в стратегии снижения геоэкологических проблем энергетике – повышение роли возобновимых и экологически более чистых источников энергии. Однако абсолютно безвредных источников практически не бывает.

Гидроэлектростанции создают свой специфический набор геоэкологических проблем: потери затопляемой земли, зачастую весьма ценной, переселение населенных пунктов из зоны затопления, изменения водных и наземных экосистем и их плодородия, а в тропических и экваториальных районах и усиление частоты и серьезности заболеваний многими тропическими болезнями, ассоциирующимися с водой (малярия, речная слепота и др.)

Непосредственное использование солнечной энергии также не оказывается полностью оправданным с экологической точки зрения: аккумуляторы солнечной энергии различных типов часто требуют большой территории. Сбор солнечной энергии зависит также от метеорологических и, следовательно, физико-географических факторов: облачности, угла солнца над горизонтом и пр., а потому он эффективен преимущественно в тропических районах со значительной продолжительностью солнечного сияния. Если в процессе производства энергии используются фотоэлектрические батареи, то в одном или нескольких звеньях технологической цепочки их производства возникает значительное загрязнение окружающей среды.

Опосредованное использование солнечной энергии, в природе, проявляющейся в виде ветра, волнения, приливов, биомассы и др., столь же несвободно от геоэкологических проблем. Например, ветровые электростанции вызывают неприемлемые шумовые эффекты, и потому должны располагаться вдали от населенных пунктов; энергия морских волн значительна, но задача ее концентрация для производства электроэнергии технически очень не проста.

Использование геотермальной энергии влечет за собой значительное загрязнение воды, воздуха и земли. Геотермальная электростанция мощностью 1000 мвт выпускает в атмосферу 10^4 – 10^5 т газов в год и загрязняет 10^5 – 10^8 м³

воды и требует значительной площади (до 20 км² на одну станцию).

Энергетические системы состоят из двух равноценно важных частей: подсистемы, касающейся предложения энергии, и подсистемы спроса на нее. Для эффективного функционирования систем энергетики не менее важны проблемы спроса. Экономия энергии играет здесь важнейшую роль.

Больше половины производимой ежедневно энергии теряется вследствие технических особенностей энергетических систем или недостаточно эффективной деятельности человека. Экономия энергии должна быть частью стратегии снижения расхода энергии на единицу продукта, причем социально-экономическое развитие или привычный стиль жизни людей, по крайней мере, не должны ухудшаться. Меры по экономии энергии и повышению ее эффективности менее успешны в странах с переходной экономикой и развивающихся странах, где промышленность зачастую расходует в 2-5 раз больше энергии на ту же величину продукции вследствие того, что оборудование, технологические процессы, транспортные системы и пр., как правило, устарели и нуждаются в модернизации.

Обсуждая стратегии выхода человечества из глобального геоэкологического кризиса, мы говорили также о необходимости и принципиальной технической возможности повысить в обозримом будущем эффективность использования энергии на порядок, то есть примерно в 10 раз. Такие действия вполне соответствовали бы осуществлению одной из обсуждавшихся нами ранее переходных стратегий, направленных на решение глобального геоэкологического кризиса.

7.3. Промышленность

Разнообразная деятельность промышленности и ее геоэкологические последствия могут быть схематизированы в виде производственно-экологической пирамиды, несколько похожей на экологическую пирамиду. В основании пирамиды лежит добыча сырья, преимущественно минерального. Известно, что около 98% добываемого на этом этапе сырья идет в отходы в виде пустой породы, руды низкой концентрацией полезного компонента, грунта, нестандартной древесины и пр. Только 2% сырья достигает следующего уровня, который можно назвать уровнем переработки сырья. В результате получают промежуточную продукцию, например, железо, сталь, прокат, цветные металлы, разнообразные химические вещества, различные пиломатериалы и пр.

Промежуточная продукция используется на следующей стадии, условно называемой машиностроением и легкой промышленностью, производящей разнообразные орудия труда и предметы потребления. На этой стадии доля полезного продукта от исходного количества сырья еще более сокращается.

Наконец, на высшей стадии промышленного производства мы имеем дело с современной индустрией высокой сложности и точности, производящей аппараты электроники и прецизионного машиностроения, композитные материалы, продукты биотехнологии и прочие товары так называемой «высокой технологии» (high-tech). На этой стадии объем используемых материалов минимален,

главные вложения – личный опыт персонала, передовые технологии и дорогостоящие комплектующие.

Одна из тенденций современной индустрии в том, что значительная часть промышленности высокой сложности и точности перестала продавать свою продукцию. Вместо этого, продукция сдается в аренду потребителю, а компания-изготовитель обеспечивает ее сервис. Так происходит переход к стадии услуг, и роль услуг имеет тенденцию к росту.

Стадия «высокой технологии» есть результат современной научно-технической революции. Зачастую, при чтении литературы, создается ошибочное впечатление, что человечество или, по крайней мере, развитые страны целиком и полностью перешли на эту стадию. На самом деле, все четыре стадии необходимы одновременно и нуждаются в развитии и совершенствовании, а без низшей стадии невозможно достичь более высокой. По-прежнему необходим металл, энергия, продукция химической промышленности и др.

В соответствии со стадиями промышленного производства возникают определенные тенденции изменения геоэкологических проблем:

- а) объем извлекаемых ресурсов и перерабатываемого сырья снижается;
- б) объем загрязняющих отходов, сбрасываемых в окружающую среду, сокращается;
- в) токсичность сбросов резко увеличивается, так что результирующее загрязнение может и не уменьшиться.

Геоэкологические воздействия промышленности охватывают всю технологическую цепочку, от добычи сырья и первичной обработки через собственно процессы производства, до использования конечного продукта и размещения отходов. Промышленность – важный потребитель природных ресурсов (металлических и неметаллических руд, продуктов сельского хозяйства, энергии различных видов). В результате индустриальных процессов возникает необходимость в запланированных или неожиданных сбросах вредных газов, твердых отходов и разнообразных жидких стоков. Это может случиться в процессе производства или позднее при использовании продукта. Некоторые из отходов и продуктов промышленности очень токсичны и могут нанести значительный ущерб.

Для борьбы с неблагоприятными геоэкологическими последствиями промышленного производства существует два принципиальных подхода:

- а) управление загрязнением на конечной стадии производства;
- б) системная перестройка производственного цикла.

При стратегическом подходе (тип а) управление загрязнением осуществляется *после* завершения технологического цикла, в виде как бы дополнения к нему. Этот подход носит условное название «на конце трубы». Переработка загрязнений «на конце трубы», как правило, не сокращает объем или массу загрязнителей. Она попросту перемещает отходы, после их обработки, из одной среды в другую, более удобную при данном технологическом цикле, например, из воздуха в землю. Во многих случаях обработка отходов перемещает эмиссии, выпускаемые в воздух, в водную среду. Такого рода операции нежелательны в долгосрочном плане, хотя и могут казаться приемлемыми как временная мера. Обработка отходов за пределами основного технологического цикла, то есть «на

конце трубы» чрезвычайно широко распространена, хотя, по сути, не решает экологических проблем. Такая технология носит название «малоотходная» или «безотходная», что, по сути, неверно.

При стратегическом подходе (тип б) в качестве долгосрочной, и, скорее всего, недостижимой на 100% цели ставится задача добиться такого производства, которое было бы полностью замкнутым, подобно космическому кораблю в продолжительном, автономном полете. С этих позиций, существует три класса технологических подходов, требующих системной перестройки промышленного производства для действительного снижения объема, массы и токсичности отходов, сбросов и эмиссий:

1) *Экономия сырья, материалов и энергии.* К этой категории относятся изменения производственного цикла, в том числе такие мероприятия, как внедрение более экологически и экономически эффективных производственных процессов, использование новых материалов, а также такие мероприятия как повышение теплоизоляции производственных помещений, установка более эффективного освещения, применение более легких грузовиков, и др.;

2) *Увеличение степени использования промышленного продукта.* К этим мерам относится организация вторичного рынка таких использованных товаров как автомобили, одежда и обувь, электроника, мебель, книги и многие другие, сбор и переработка утиля (лом цветных и черных металлов, стекло, бумага, использованная упаковка и др.), при соответствующем сокращении производства новых товаров;

3) *Извлечение полезных продуктов из промышленных отходов.* Первой этим стала знаменита американская корпорация 3-М, получающая значительный доход от извлечения побочных продуктов. Ее лозунг "Pollution Prevention Pays" (PPP), который можно перевести как «Предотвращение загрязнения платит за себя» широко известен в деловом мире.

Исследования Департамента энергетики показали возможность сокращения промышленных отходов в США на 1,3 млрд. т за период между 1996 и 2010 гг. Потенциальная выгода от этого может увеличить валовой продукт страны за тот же период на 1,936 трлн. долларов. Одновременно возрастет занятость на 16 млн. чел. в год в течение 15 лет. Таким образом, национальная политика сокращения промышленных отходов может принести как экологическую, так и экономическую выгоду.

7.4. Транспорт

Услуги транспорта играют важную роль в экономике и повседневной жизни людей. Транспорт – один из важнейших компонентов общественного и экономического развития, поглощающий значительное количество ресурсов и оказывающий серьезное влияние на окружающую среду. Использование практически всех видов транспорта на всех континентах возрастает и по объему перевозимых грузов, и по количеству тонно-километров, и по числу перевозимых пассажиров. Некоторые виды транспорта уходят в прошлое (например, морские пассажирские линии дальнего плавания или гужевой транспорт в развитых

странах). Однако во многих странах все еще используется тяговая сила животных, передвижение на велосипедах или пешком. Вместе с тем, увеличивается использование дальней авиации и трубопроводов при относительно стабильном использовании железнодорожного транспорта.

Но особенно большую роль играет постоянное и неуклонное увеличение использования автомобилей для перевозки грузов и как средство личного транспорта. Этому сопутствует рост автомобильных, в том числе скоростных дорог. Около половины добываемой в мире нефти используется для автомобильного транспорта, рост которого значительно опережает рост населения. Увеличение числа автомобилей неразрывно связано с процессами урбанизации. Многочасовые заторы стали обычной картиной на улицах многих городов мира. Не лучше ситуация и в России. Количество автомобилей в Москве в несколько раз превышает допустимое для имеющейся сети городских дорог.

Транспорт – очень важный неблагоприятный фактор состояния окружающей среды:

1) почти все виды транспорта загрязняют окружающую среду, в особенности воздух, а также и воду, и вызывают значительный шум и вибрацию;

2) поглощаются много земельных ресурсов для транспортной инфраструктуры – автомобильных и железных дорог, морских и речных портов, трубопроводов, аэропортов и пр. и связанных с ними складов, вокзалов, причалов и т.д. Транспортная инфраструктура создает значительные по площади техногенные ландшафты;

3) значительное количество природных ресурсов расходуется на производство автомобилей и сооружение элементов транспортной инфраструктуры;

4) все виды транспорта представляют серьезную опасность для жизни, здоровья и имущества людей.

Загрязнение воздуха – наиболее серьезная геоэкологическая проблема, ассоциирующаяся с транспортом. В странах Организации экономического и социального развития (OECD) эмиссия в воздух от автомобилей увеличилась за период 1975-1990 гг. на 20-75%. В развивающихся странах этот показатель выше. В Москве эмиссия выхлопных газов автомобилей составляет не менее 70% всего загрязнения воздуха. От 40 до 70% оксидов азота, от 70 до 90% окиси углерода и не менее 50% свинца в атмосфере вызваны выхлопом автомобилей. Последствия загрязнения воздуха становятся важнейшей глобальной геоэкологической проблемой.

Загрязнители воздуха, непосредственно продуцируемые автомобилями, такие как окись углерода, оксиды азота, углеводороды или свинец, главным образом накапливаются по соседству с источниками загрязнения, т.е. вдоль шоссе-ных дорог, улиц, в тоннелях, на перекрестках и пр. Таким образом, создаются локальные геоэкологические воздействия транспорта на окружающую среду.

Часть загрязнителей транспортируется на большие расстояния от места эмиссии, трансформируется в процессе переноса и вызывает региональные геоэкологические воздействия. Наиболее распространенным процессом этой категории является асидификация.

Двуокись углерода и другие газы, обладающие парниковым эффектом,

распространяются на всю атмосферу, вызывая глобальные геоэкологические воздействия.

Вследствие значительных воздействий транспорта на локальном, региональном и глобальном уровнях необходимо стремиться к осуществлению следующих направлений координированной общемировой стратегии как компоненты устойчивого развития:

- *Потребление горючих ископаемых для транспорта должно сокращаться;*
- *Должны быть установлены основанные на передовой технологии общемировые стандарты выбросов в атмосферу для всех видов транспорта;*
- *Каждой стране следует разработать и осуществлять программу контроля эмиссии всех источников и видов транспорта;*
- *Совершенствовать и развивать надежную и общедоступную систему общественного транспорта;*
- *При планировании развития транспортных систем использовать системный подход, направленный на комплексное решение экологических проблем. Устранять причины, а не следствия геоэкологических проблем на транспорте.*

Общая цель в системном управлении транспортом заключается в нахождении оптимального соотношения между обеспечением потребностей общества и снижением загрязнения окружающей среды. Стратегии управления будут зависеть от локальных ситуаций и потому будут различными для конкретных стран, регионов и городов.

7.5. Сельское хозяйство

Сельское хозяйство – наиболее широко распространенный антропогенный фактор преобразования экосферы, или, иными словами, глобальных изменений. Это важнейшая система жизнеобеспечения общества. Сельское хозяйство обеспечивает 98-99% массы продуктов питания людей на Земле, в том числе 87% белкового питания. Поэтому чем выше численность населения и больше его потребности, тем больше роль сельского хозяйства и тем значительнее его воздействие на экосферу.

Сельскохозяйственные системы, как земледельческие, так и животноводческие, занимают в мире около 50 млн. км², или 38% свободной ото льда суши. Из них пашня занимает около 30%, и пастбища – 70%.

Разнообразие типов сельскохозяйственных систем огромно. Оно зависит как от природных условий, так и особенностей применяемых технологий. Поэтому сельскохозяйственные системы называют также агроэкосистемами. В простейших системах земледелия агротехнические операции сводятся, последовательно, к несложной подготовке почвы к посеву, заделыванию зерна во влажную почву, борьбе с сорняками и вредителями, сбору того, что выросло, переработке урожая и сохранению части его в качестве семян для следующего сельскохозяйственного года. С другой стороны, в сложных системах уровень технологии чрезвычайно высок. Например, в польдерах Нидерландов осуществляется управление оптимальным режимом развития растений. Уровень капиллярной каймы грунтовых вод регулируется таким образом, чтобы корни культурных растений постоянно находились в этой зоне, не выше и не ниже, а пита-

тельные вещества в почве были бы доступны растению в необходимом, но не чрезмерном количестве. Соответственно, и урожаи, получаемые в различных агроэкосистемах, разнятся в десятки раз.

Не менее велико разнообразие животноводческих систем, в зависимости от природных и хозяйственных факторов. Наконец, существует большое количество комбинаций типов земледелия и животноводства.

Несмотря на свое разнообразие, сельскохозяйственные системы отличаются одной общей особенностью: все они оказали и продолжают оказывать глубокое воздействие на экосистемы и ландшафты. В процессе развития агроэкосистем преобразуется растительность: от естественного покрова – к пашне или пастбищу. В земледельческих системах естественный, флористически богатый растительный покров, часто многоярусный, замещается на единственную для данного сезона или года культуру. Система коренным образом трансформируется и упрощается.

При введении орошения изменяется и тип водного режима: от обычно непромывного – к промывному.

Как и земледелие, животноводство имеет много разнообразных форм в связи с различиями природных условий и уровней развития общества. В животноводческих агроэкосистемах геоэкологические изменения более постепенны, но не менее глубоки. Не случайно, одна из проблем геоэкологии заключается в определении того, каким было исходное, доантропогенное состояние африканской саванны, поскольку она постепенно трансформировалась под влиянием многотысячелетнего и весьма интенсивного выпаса скота. В засушливых районах мира основная геоэкологическая проблема пастбищного скотоводства – постепенное истощение пастбищ, то есть прогрессирующее антропогенное опустынивание вплоть до уничтожения растительного и почвенного покрова.

В умеренном поясе преобладающее пастбищно-стойловое животноводство также приносит немало геоэкологических проблем, связанных с загрязнением почвы и воды отходами животноводства.

Естественные системы отличаются высокой степенью замкнутости баланса органического вещества и других компонентов. Разность между приходной и расходной частями баланса вещества в природной системе за год не превышает 1%, а обычно меньше. За счет этой малой доли и происходит направленная эволюция естественных систем. В сельскохозяйственных же системах цикл вещества разомкнут: вещество забирается человеком из системы в виде урожая, а семена, органические и минеральные удобрения, а также и пестициды, в нее вносятся. Вынос вещества составляет десятки процентов (обычно 40-80%) от годовой продукции биомассы. При этом, чем продуктивнее агроэкосистема, тем больше отчуждение продукции, и тем система более неустойчива. Антропогенный привнос веществ в агроэкосистему оказывается на один-два порядка больше их естественного поступления. Таким образом, система коренным образом трансформируется.

Изменяются и физические процессы. Водная и ветровая эрозия почв усиливаются на один-три порядка. Почва уплотняется под воздействием сельскохозяйственных машин и орудий. Структура теплового баланса изменяется

вследствие изменения как величины альбедо, так и затрат на эвапотранспирацию. Соответственно изменяется и водный баланс, и режим влаги в почве.

Биологические особенности, такие как биомасса, ее прирост, трофические соотношения, видовой состав, включая микроорганизмов и беспозвоночных и пр., коренным образом меняются.

Вследствие эволюции земледелия и животноводства сокращается сложность структуры ландшафтов, их устойчивость снижается и может поддерживаться только благодаря действиям человека.

Геоэкологические проблемы сельского хозяйства относятся к категории универсальных. Эти проблемы – продукт нескоординированных действий миллионов крестьян.

В мире в процессе развития сельского хозяйства далеко не все решения были успешными. Пахотные площади увеличивались, но во многих случаях вследствие ухудшения состояния агроэкосистем снижалась урожайность культур. Значительная часть земель безвозвратно потеряна для сельского хозяйства в результате водной и ветровой эрозии почв, их засоления и заболачивания, и антропогенного опустынивания. Общая площадь безвозвратно потерянных и сильно деградированных земель находится в пределах 15 млн. км² (11% свободной от льда территории мира), то есть сравнима с современной площадью пашни мира. Еще на 6 млн. км² (5% территории мира) биологическая продуктивность значительно понижена в результате деятельности человека. Деградация, как природных систем, так и агроэкосистем продолжается.

Сельское хозяйство оказывает существенное влияние на водный режим и водный баланс, как небольших территорий, так и крупных, масштаба континентов или всего мира. Как правило, увеличивается поверхностный сток и, соответственно, снижаются подземный сток и запасы влаги в почве.

Как уже обсуждалось ранее, деградация почв и снижение биологической продуктивности – одна из важнейших, может быть, наиважнейшая геоэкологическая проблема, потому, что снижение биопродуктивности сопровождается неуклонным ростом потребностей населения мира в продуктах питания.

Растущий спрос на продовольствие может быть удовлетворен двумя путями: расширением пахотных площадей и интенсификацией сельского хозяйства. В обоих случаях неизбежно усиление геоэкологических проблем вследствие ухудшения состояния земель и повышения транспорта наносов и химических веществ. Таким образом, истинная стоимость продуктов сельского хозяйства (с включением геоэкологических потерь и затрат в величину стоимости) на перспективу будет возрастать.

Вопросы по Главе 7:

1. Что такое природно-техногенные системы?
2. Что такое урбанизация и каковы последствия от урбанизации?
3. Раскройте основные геоэкологические проблемы энергетики.
4. Раскройте основные геоэкологические проблемы промышленности.
5. Раскройте основные геоэкологические проблемы транспорта.
6. Раскройте основные геоэкологические проблемы сельского хозяйства.

Глава 8

Стратегия выживания человечества

Рост численности населения и опережающий его рост потребностей общества поставили перед человечеством общемировые задачи обеспечения продовольствием необходимой калорийности и состава, водой приемлемого количества и качества, территорией, обеспечивающей многие аспекты деятельности человека, энергией, не вызывающей глобальных геоэкологических кризисов, продуктами индустриальной деятельности, не приводящей к неприемлемому уровню загрязнения экосферы. Эти потребности неуклонно возрастают, переводя экосферу из кризисного, но все же устойчивого состояния к неустойчивому, а при дальнейшем развитии неустойчивости – к глобальной катастрофе.

Все эти и подобные потребности удовлетворяются благодаря надежному функционированию процессов, происходящих в экосфере, таких как глобальные биогеохимические циклы, глобальный гидрологический цикл, глобальный энергетический баланс и его географическое распределение, синтез и деструкция органического вещества, системы циркуляции атмосферы и Мирового океана и др. Значительная часть нужд человечества обеспечивается также благодаря добыче и переработке невозобновимых минеральных ресурсов (нефти, угля, руд, металлов и др.).

В масштабах времени жизни нескольких поколений, экосфера выполняет четыре основные функции:

- 1) устойчивое поддержание систем жизнеобеспечения;*
- 2) устойчивое поглощение и переработка продуктов жизнедеятельности человеческого общества;*
- 3) устойчивое воспроизводство возобновимых природных ресурсов (преимущественно биологических);*
- 4) обеспечение невозобновимыми (преимущественно минеральными) природными ресурсами.*

Последняя из вышеупомянутых функций целиком вызвана деятельностью человека. Она чужда природе, и ее усиление вызывает рост неустойчивости экосферы. Первые три функции органически присущи экосфере и, в определенных пределах, устойчивы. При увеличении антропогенной и/или естественной нагрузки, с ее выходом за допустимые пределы, устойчивость каждой из первых трех функций резко уменьшается. Роль человечества в снижении, а затем и разрушении устойчивости каждой из функций – решающая.

С проблемами ограниченности природных ресурсов (возобновимых и невозобновимых) и загрязнением окружающей среды человечество в принципе может справиться. Что касается восстановления антропогенно нарушенных глобальных систем жизнеобеспечения, то оно во многом находится за пределами возможностей человечества.

По всей видимости, эта ситуация сохранится на ближайшую перспективу, даже если правительства стран мира коренным образом изменят систему приоритетов по отношению к экосфере и ее элементам. Отсюда вытекает реальная возможность переступания через порог устойчивости экосферы с возникнове-

нием опасности для существования всего человечества. Так возникает проблема выживания человечества, и поэтому сохранение устойчивой экосферы – важнейшая проблема XXI века.

При этом результаты исследований глобальных изменений показывают, что предел устойчивости экосферы, зависящий от все возрастающего антропогенного давления на нее – не ресурсный, а геоэкологический. В истории эволюции экосферы локальные и частные экологические кризисы возникали неоднократно. Во второй половине XX века человечество впервые столкнулось с глобальным геоэкологическим кризисом антропогенного происхождения. Глубокие исследования сложных, междисциплинарных процессов глобальных изменений, их взаимодействия с обществом, и разработка стратегий, основанных на этом понимании, может стать важнейшим вкладом геоэкологии в решение проблемы выживания человечества.

Вопрос выживания человечества может рассматриваться как обеспечение устойчивости системы взаимосвязанных глобальных проблем кризисного характера: геоэкологической, водной, демографической, энергетической, продовольственной, минерально-ресурсной. Как мы видели в предшествующих главах, эти проблемы возникают, потому, что пока еще неограниченно растущие потребности общества приходят в противоречие с ограниченными природными ресурсами и «услугами» экосферы.

Невозможно сказать, какая из выше перечисленных кризисных проблем наиболее опасна или наиболее приоритетна. Приоритеты человечества в преодолении кризисов изменяются со временем, но сами проблемы не снимаются. Они становятся комплексными, и проблема выживания все более усложняется.

Усложнение и углубление кризисных проблем в конечном итоге может привести к глобальной катастрофе, проявляющейся не только и не столько в ухудшении общемирового состояния окружающей среды и менее эффективном функционировании геоэкологических «услуг», но и в распаде ранее устойчивых политических, экономических и социальных систем, ухудшении здоровья людей, межнациональных конфликтах, голоде, военных столкновениях и др.

По-видимому, не все кризисные проблемы подойдут к порогу возможной глобальной катастрофы одновременно. Наоборот, они, скорее всего, достигнут своего пика в различное время, но какая из них вызовет катастрофу, сказать заранее невозможно. Чтобы избежать катастрофы, необходимо разработать и осуществлять стратегии разрешения кризисных проблем на переходный период, от текущего состояния, близкого к неустойчивости, к устойчивости.

Проблема деградации систем жизнеобеспечения экосферы (геоэкологический кризис). Она вызвана увеличением антропогенного давления на природные и природно-общественные системы. В результате возникают такие вопросы как ограниченность природных ресурсов, как возобновимых, так и невозобновимых, дефицит пространства, загрязнение окружающей среды и антропогенная деградация систем жизнеобеспечения (снижение естественной биологической продуктивности, нарушение глобальных биогеохимических циклов, трансформация и деградация естественных ландшафтов, изменение естественного климата, деградация озонового слоя, ухудшение состояние почв и пр.).

Основная стратегия на переходный период – сохранение эффективного функционирования систем жизнеобеспечения на основе понимания того, что предотвращение деградации систем существенно проще и экономичнее, чем их восстановление.

Для выполнения этой сложной задачи необходимо сотрудничество всех государств мира. Именно в этой области накоплен наибольший опыт разработки и выполнения международных конвенций по защите или восстановлению глобальных систем жизнеобеспечения. К этой категории относятся упоминаемые выше соглашения ООН, такие как «Конвенция по изменению климата», «Конвенция по защите озонового слоя», «Конвенция по борьбе с опустыниванием», «Конвенция по охране биологического разнообразия» и др. Не все конвенции эффективно осуществляются, но само согласие правительств сотрудничать в этой области уже является важным фактором политической жизни.

Другие глобальные проблемы кризисного характера теснейшим образом связаны с геоэкологической проблемой.

Проблема дефицита водных ресурсов и ухудшения их качества (водная проблема) заключается в том, что во многих районах мира имеющиеся водные ресурсы приемлемого качества не удовлетворяют потребность в них, что вызывает серьезные социальные, экономические и политические трудности. По мере роста населения и его потребностей дефицит водных ресурсов будет усугубляться, и становиться все более серьезным препятствием в обеспечении устойчивости.

Стратегия на переходный период заключается в более тщательной разработке динамического равновесия между водными ресурсами и их потреблением в рамках долгосрочной системы управления устойчивым развитием региона. Кроме того, многие водные объекты относятся к нескольким государствам. Региональное международное сотрудничество, основанное на совместном управлении разделяемыми реками, озерами и морями – важнейший инструмент устойчивости и мира. К этой категории относятся несколько сотен водных объектов, включая такие крупные и важные как Нил, Дунай, Меконг, Парана, Каспий, Арал, Балтика, Великие озера, Черное море и др.

Демографическая проблема заключается в росте численности населения мира и еще большем увеличении его потребностей, так, что объем природных ресурсов и геоэкологических «услуг», приходящихся на душу населения, сокращается. Стратегия на переходный период должна заключаться в постепенном замедлении роста численности населения, а затем, возможно, и в ее сокращении. Одновременно должно снижаться потребление ресурсов и услуг.

Энергетическая проблема заключается в необходимости обеспечения человечества достаточным количеством энергии в настоящее время и на перспективу при условии сохранения благоприятного состояния экосферы с точки зрения климата, биогеохимических циклов и др. Она решается посредством перехода от современной энергетики, основанной преимущественно на сжигании органического топлива, к использованию солнечной энергии в различных ее формах.

Продовольственная проблема это задача обеспечения растущего населе-

ния Земли продуктами питания при сохранении почвы как ресурсной базы сельского хозяйства, а также и соблюдении устойчивого состояния экосферы, то есть при условии решения геоэкологической проблемы. Основное направление стратегии на переходный период – укрепление устойчивости сельского хозяйства при неизбежном росте его интенсивности.

Минерально-ресурсная проблема связана с возрастающей потребностью общества в полезных ископаемых. Скорость образования полезных ископаемых значительно меньше скорости их добычи, и потому неизбежны частичные кризисы, связанные с дефицитом того или иного ископаемого, возрастающей стоимостью их добычи и ухудшением состояния окружающей среды вследствие горнорудной деятельности. Стратегия на переходный период заключается в экономии сырья и сохранении устойчивого состояния экосферы, а в более далекой перспективе – в неизбежном переходе к возобновимым заменителям.

Оценки будущего состояния экосферы выполняются на основе сценариев, отвечающих на вопрос «что будет, если ...?».

Согласно одному из реалистичных сценариев, разработанных в ООН, при условии, что во всех странах мира среднее количество детей в семье снизится до 2,1 чел., пик численности населения мира придется приблизительно на 2050 г., когда она достигнет 9,4 млрд. чел. Если отношение общества к использованию природных ресурсов и «услуг» экосферы не изменится, то к 2050 г. можно ожидать увеличения потребности в продовольствии, по сравнению с настоящим временем, в 2 раза, в энергии – в 2,2 раза, в воде – в 1,9 раза. Рост валового производства в мире должен стать за этот период четырехкратным. При этом географическое распределение природных ресурсов и геоэкологических «услуг» в целом не изменится, но станет еще более контрастным. Дальнейшие антропогенные изменения экосферы при таком сценарии неизбежны.

Вопросы по Главе 8:

1. Перечислите основные стратегии выживания человечества.
2. Дайте характеристику геоэкологического кризиса и определите пути выхода из него.
3. Каковы последствия дефицита водных ресурсов и снижения их качества?
4. В чем заключаются энергетические проблемы человечества?

ЧАСТЬ II

МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 9

Экологический мониторинг

Экологический мониторинг рассматривается как совокупность систем комплексных наблюдений за антропогенными и природными источниками воздействия, состоянием окружающей среды, динамикой происходящих в ней изменений, прогнозом развития ситуаций и управления ими. В качестве основных элементов мониторинг включает наблюдения за факторами воздействия и состоянием окружающей среды, прогноз ее будущего состояния и оценка фактического и прогнозируемого состояния природной среды. Ключевой задачей экологического мониторинга является обеспечение систематических наблюдений за экологическими эффектами взаимодействия природы, населения и хозяйства на определенной территории.

Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг), согласно Закону Российской Федерации «Об охране окружающей среды» (2002) – это комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Государственный мониторинг окружающей среды (государственный экологический мониторинг) – мониторинг окружающей среды осуществляемый органами государственной власти РФ и органами государственной власти субъектов РФ. В Российской Федерации осуществляется государственный, производственный, муниципальный и общественный контроль в области охраны окружающей среды. Контроль в области охраны окружающей среды проводится в целях обеспечения органами государственной власти РФ, органами государственной власти субъектов РФ, органами местного самоуправления, юридическими и физическими лицами исполнения законодательства и соблюдения требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды, а также обеспечения экологической безопасности.

В России сформирована Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ), которая создана с целью:

- информационного обеспечения управления в области охраны окружающей среды;
- рационального использования природных ресурсов;
- обеспечения экологически безопасного устойчивого развития страны и ее регионов;
- ведения государственного фонда данных о состоянии окружающей среды и экосистем, природных ресурсах, источниках антропогенного воздействия.

Основными задачами являются:

– *проведение наблюдений за изменением состояния окружающей среды и экосистемами, источниками антропогенных воздействий с определенным про-*

странственным и временным разрешением;

– проведение оценок состояния окружающей среды, экосистем территории страны, источников антропогенного воздействия;

– прогноз состояния окружающей среды, экологической обстановки на территории России, уровней антропогенного воздействия при различных условиях размещения производительных сил, социальных и экономических сценариях развития страны и ее регионов.

Организация и функционирование ведомственной наблюдательной сети осуществляется с соблюдением основных принципов деятельности гидрометеорологической службы:

– репрезентативности пунктов наблюдений;

– единства и сопоставимости методов наблюдений, обработки и обобщения результатов наблюдений;

– обеспечения достоверности получаемых результатов и доступности информации для пользователей.

Ведомственные стационарные и подвижные пункты наблюдений осуществляют свою деятельность на основании лицензий, получаемых от Росгидромета, и с соблюдением требований нормативных документов, регламентирующих производство наблюдений. Росгидромет, его территориальные органы и организации оказывают ведомствам (их организациям) необходимую помощь по организационным, техническим и методическим вопросам обеспечения деятельности пунктов наблюдений на основе договоров.

Системы экологического мониторинга России тесно взаимосвязаны с международным мониторингом, который осуществляется в рамках Глобальной системой мониторинга окружающей среды (ГСМОС) и охватывает национальные и региональные (межнациональные) системы мониторинга. Эти системы мониторинга являются научно-методической основой для различных отраслевых и ведомственных систем мониторинга.

9.1. Структурно-логическая схема организации мониторинга

Мониторинг следует обеспечивать на всех иерархических уровнях (рис. 9.1). Каждый уровень мониторинга должен включать три подсистемы:

1) мониторинг инцидентов и аварий, обусловленных отказами объектов различного уровня иерархии;

2) мониторинг инцидентов и аварий, обусловленных ошибочными действиями операторов объектов;

3) мониторинг инцидентов и аварий, обусловленных природными воздействиями.



Рис. 9.1. Иерархическая структура мониторинга.

Локальный (объектный) уровень мониторинга предназначен для оценки и прогнозирования технического состояния и надежности оборудования опасных технических объектов. Производственно-экологический мониторинг (ПЭМ) осуществляется посредством мониторинга состояния этого оборудования и получения значений вероятности (или частоты) возникновения инцидентов и аварий, причинно-следственного комплекса формирования инцидентов и аварий, данных о качественном и количественном составе опасных утечек, неорганизованных выбросов и других экологических, экономических и социальных последствиях.

Производственный уровень мониторинга предназначен для оценки и сравнения технической безопасности (уровня риска) отдельных технических объектов и территориальных производственных подсистем объектов (месторождение, трубопровод и т.п.).

Основные задачи субрегионального уровня:

- 1) получение, накопление и систематизация данных о состоянии опасных объектов;
- 2) информационное обеспечение долгосрочного и оперативного прогнозирования технической безопасности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций;
- 3) обеспечения эффективного информационного сопряжения с другими подсистемами ПЭМ;
- 4) информационное обеспечение управления технической и экологической безопасностью.

Сеть режимных наблюдений должна соответствовать технологической схеме объектов и обеспечивать контроль технической безопасности.

Система ПЭМ должна включать контроль состояния основных компонентов окружающей среды (природа, социально-хозяйственная сфера) и воздействующих на нее производственных объектов на всех этапах освоения и развития производственно-технического комплекса.

Соответственно система ПЭМ должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию:

- о состоянии окружающей среды, об источниках и факторах воздействия;
- о причинах наблюдаемых и прогнозируемых изменениях состояния окружающей среды и технических объектов;
- о допустимости изменений и нагрузок на окружающую среду и ее элементы (компоненты, экосистемы).

9.2. Объекты экологического мониторинга: природная и техногенная среды и сфера взаимодействия

К объектам экологического мониторинга (ОЭМ) относятся источники техногенного воздействия и элементы социально-хозяйственного назначения производственно-технического комплекса (ПТК) и компоненты окружающей среды. В отношении производственной и социально-хозяйственной инфраструктуры ПТК объектами мониторинга источников воздействия на разных уровнях выступают блоки, группы и элементы технических объектов и их техническая безопасность. В качестве факторов воздействия объектами мониторинга являются выбросы, сбросы, изъятия природных ресурсов, геофизические и геохимические нарушения состояния окружающей среды, отходы, воздействие шума, электромагнитного и теплового излучения, радиоволн.

Объектами мониторинга в отношении окружающей среды служат различные компоненты природы, хозяйства и населения. К природным компонентам относятся: атмосферный воздух, поверхностные воды, геологическая среда, в том числе и подземные воды, почвы, растительность, животный мир. Одновременно с мониторингом состояния природных компонентов окружающей среды должен осуществляться мониторинг состояния природных ресурсов, включающий:

- мониторинг водных ресурсов (поверхностных и подземных вод), их оценку;
- мониторинг земельных ресурсов, осуществляемый как землепользователями (лесо-, охото- и недропользователями), так и государственными землеустроительными органами, земельным комитетом района;
- мониторинг минерально-сырьевых ресурсов, осуществляемый в отношении углеводородного сырья (природного газа и конденсата) на различных стадиях освоения месторождения;
- мониторинг биологических ресурсов, включая мониторинг промысловых видов животных, ценных промысловых рыб, ценных и редких растений, лесов.

В качестве элементов окружающей среды как объекты мониторинга должны рассматриваться функциональные зоны, т.е. нормативные защитные зоны природных и техногенных объектов, попадающих в зону воздействия ПТК. В частности, это зеленая зона поселков, водоохранная зона, нерестовая зона, зона санитарной защиты водозаборов, зоны защиты линейных сооружений и т.д.

Выбор объектов мониторинга осуществляется исходя из целей и задач, уровня организации, принятых проектных решений, характеристик источников и факторов воздействия и зон их влияния, географического положения территории, особенностей компонентов окружающей среды и их экологического состояния, политики природопользования и нормативно-правовой базы. При выборе объектов и пунктов мониторинга должна соблюдаться репрезентативность «наблюдения – представительность» выбранной части каких-либо наблюдений данного объекта по отношению ко всей совокупности наблюдений, из которых сделана выборка. Приоритеты в выборе объектов и пунктов наблюдения определя-

ются исходя из величины воздействия и его последствий. При этом учитывается не только степень нарушенности, отклонение от нормы, но и экологическая и социально-хозяйственная оценка значимости того либо иного компонента окружающей среды. Компоненты окружающей среды (природа, население, хозяйство) также рассматриваются в качестве источников воздействия друг на друга и объекты ПТК. Такой подход связывается с представлениями о мере экологической опасности и степени обоснованности риска хозяйственной деятельности.

Значимые воздействия должны выявляться на всех этапах освоения и развития ПТК на основе анализа характеристик источников воздействия, оценки современного и прогнозируемого состояния компонентов окружающей среды и экологической ситуации, величины отклонения их показателей. В качестве приоритетных объектов мониторинга выделяются те компоненты и элементы окружающей среды, на которые существующее или планируемое воздействие ПТК оказывает или может оказать наиболее значимое влияние.

9.3. Формирование сети режимных наблюдений

Создание сети наблюдения и разработка принципов процедуры ведения мониторинга является важным этапом мониторинга, на котором с учетом поставленных задач и имеющегося опыта функционирования систем мониторинга определяются основные структурные подразделения сети наблюдений, в том числе территориальные и локальные, с указанием их назначения.

При разработке сети пунктов наблюдения необходимо предусмотреть меры по соблюдению оптимального соотношения между видами наблюдательных сетей. Наблюдения подразделяются на следующие типы:

- *стационарные* – проводятся на пунктах, действующих длительное время по определенной относительно неизменной программе;
- *территориальные* краткосрочные обследования для выявления пространственных аспектов загрязнения;
- *интенсивные локальные* наблюдения в местах с наибольшей вероятностью и опасностью загрязнения и других негативных последствий воздействия.

При этом необходимо решить вопрос о целесообразности и масштабах использования автоматизированных, дистанционных и других подсистем мониторинга.

Пространственные аспекты мониторинга, включая выбор мест расположения пунктов контроля, определяются в зависимости от важности объекта и его состояния, экологической ситуации, предусмотренной проектом производственной и социально-хозяйственной инфраструктуры, особенностей зонирования территории (зоны влияния источников воздействия, вне влияния источников воздействия – фон). Особое значение для обоснования сети мониторинга придается учету географических условий, конкретных местных и региональных факторов, их взаимному влиянию и взаимодействию.

Привязка пунктов наблюдения к местности осуществляется как в координатной сети топографических карт, так и в системе землеустройства. Для определения требований к получаемой информации по качеству окружающей среды

необходима детализация и взаимоувязка поставленных перед мониторингом задач. Важную роль играет формулирование представления о требуемом качестве окружающей среды и способах его оценки. На основании четко сформулированных задач, а также с учетом ранее накопленных данных о состоянии окружающей среды, определяются требования к информации, включая тип, форму и сроки ее предоставления потребителям, а также пригодность для управления охранной природы и природопользованием.

Особое значение придается выбору основных статистических методов обработки данных, так как от них в значительной мере зависят частота и сроки наблюдения, а также требования к точности получаемых значений.

9.4. Виды и методы наблюдения и контроля

Ведение мониторинг технической безопасности может осуществляться с помощью трехуровневой автоматизированной информационно-аналитической системы (ИАС). На локальном уровне мониторинг осуществляется с помощью информационно-аналитической системы (ИАС), которая находится на опасном объекте (объектах). Ответственность за разработку, развитие и совершенствование ИАС локального уровня несет оператор (администратор, менеджер) объекта. Информация ИАС локального уровня поступает в ИАС производственного уровня на основе, которой осуществляется ведение мониторинга техники безопасности производственного уровня. Информация в ИАС субрегионального уровня поступает из ИАС локального и производственного уровня, а также от существующих государственных и ведомственных систем наблюдения и контроля окружающей среды. Ответственность за контроль ИАС производственного (субрегионального) уровня возлагается на оператора (администрацию) ПТК, а также разработчиков проекта мониторинга на правах авторского надзора.

Контролируются следующие параметры:

- *вероятность, частота и последствия инцидентов и аварий, обусловленных: отказами объектов, ошибочными действиями операторов, природными явлениями;*
- *вероятность, частота и последствия инцидентов и аварий, обусловленных нарушением и (или) несовершенством следующих мероприятий; предупредительных, контрольных, защитных;*
- *вероятность, частота и последствия инцидентов и аварий по причинам: конструктивным, производственным и монтажным, эксплуатационным.*

Техническими средствами мониторинга техники безопасности являются системы контроля, управления, диагностики и прогнозирования состояния, необходимые для того, чтобы при эксплуатации предупреждать возникновение и предотвращать развитие опасных состояний и отказов элементов систем, грозящих нарушением пределов и условий безопасной эксплуатации объекта. Основными средствами наблюдения являются мобильные и встроенные системы диагностирования, а контроля и оценки – автоматизированные системы оценки технического состояния и аварийной защиты.

Периодичность (режим) наблюдения и измерения (непрерывный и периодический режим) определяется в зависимости от режима функционирования наблюдаемых объектов и особенностей контролируемого параметра.

Информационное обеспечение системы мониторинга осуществляется специальным информационно-аналитическим центром (СИАЦ), являющимся составной частью производственного информационно-аналитического центра (ПИАЦ) ПТК.

Основными задачами СИАЦ являются:

1) разработка единого математического и программного обеспечения автоматизированных банков данных по причинам и последствиям инцидентов и аварий и экспертных систем по прогнозированию инцидентов и аварий на различных объектах;

2) сбор, хранение, обработка, анализ, обмен и передача информации;

3) обобщение информации о состоянии объектов ПТК.

Операторы объектов, ведущие мониторинг по Программам, представляют информацию в СИАЦ в соответствии с установленным и согласованным регламентом, которая затем анализируется, обобщается и передается в ПИАЦ. Искажение, сокрытие или несвоевременное представление информации влечет за собой штрафные санкции и другие меры наказания в соответствии с действующей нормативной базой. Анализ информации и поддержка принятия решений осуществляется с помощью Информационно-аналитической системы включающей базы данных и интегрированные экспертные системы.

Вопросы по Главе 9:

1. Что такое экологический мониторинг?
2. Каковы основные задачи экологического мониторинга?
3. Перечислите объекты экологического мониторинга.
4. Расскажите о видах и методах наблюдения и контроля за качеством окружающей среды.

Глава 10

Геоинформационные системы (ГИС)

10.1. Понятие о геоинформационных системах

Географическая информационная система или геоинформационная система (ГИС) – это информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ и отображение пространственных данных и связанных с ними непространственных, а также получение на их основе информации и знаний о географическом пространстве.

Считается, что географические или пространственные данные составляют более половины объема всей циркулирующей информации, используемой организациями, занимающимися разными видами деятельности, в которых необходим учет пространственного размещения объектов. ГИС ориентирована на обеспечение возможности принятия оптимальных управленческих решений на основе анализа пространственных данных.

Ключевыми словами в определении ГИС являются – анализ пространственных данных или пространственный анализ. ГИС может ответить на следующие вопросы: Что находится в заданной области? Где находится область, удовлетворяющая заданному набору условий?

Современные ГИС расширили использование карт за счет хранения графических данных в виде отдельных тематических слоев, а качественных и количественных характеристик составляющих их объектов в виде баз данных. Такая организация данных при наличии гибких механизмов управления ими, обеспечивает принципиально новые аналитические возможности.

В понятийном аппарате учения о геоинформационных системах часто используются термины «данные», «информация», «знания». Конкретизируя эти термины применительно к оперированию ими в информационной системе, можно отметить, что, имея много общего, эти понятия различаются по своей сути.

Под *данными* понимается совокупность фактов, известных об объектах, либо результаты измерения этих объектов. Данные, используемые в ГИС, отличаются высокой степенью формализации. Данные – это как бы строительный элемент в процессе создания информации, поскольку она получается в процессе обработки данных. Применительно к ГИС под *информацией* понимается совокупность сведений, определяющих меру наших знаний об объекте. В таком контексте *знания* можно рассматривать как результат интерпретации информации. Наиболее общее определение: знание – результат познания действительности, получивший подтверждение в практике. Научное знание отличается своей систематичностью, обоснованностью и высокой степенью структуризации.

Информационные системы можно рассматривать как эффективный инструмент получения знаний.

Различия между терминами «данные», «информация» и «знания» прослеживаются в истории развития технических систем, так вначале появились банки данных, позднее информационные системы, затем появились системы, осно-

ванные на знаниях – интеллектуальные системы (экспертные системы).

В настоящее время на рынке программных продуктов представлено несколько видов систем, работающих с пространственно распределенной информацией, к ним в частности, относятся системы автоматизированного проектирования, автоматизированного картографирования и ГИС. ГИС по сравнению с другими автоматизированными системами обладают развитыми средствами анализа пространственных данных.

10.2. Обобщенные функции ГИС-систем и их классификация

Большинство современных ГИС осуществляют комплексную обработку информации. Обобщенными функциями ГИС-систем являются:

- *Ввод и редактирование данных;*
- *Поддержка моделей пространственных данных;*
- *Хранение информации;*
- *Преобразование систем координат и трансформация картографических проекций;*
- *Растрово-векторные операции;*
- *Измерительные операции;*
- *Полигональные операции;*
- *Операции пространственного анализа;*
- *Различные виды пространственного моделирования;*
- *Цифровое моделирование рельефа и анализ поверхностей;*
- *Вывод результатов в разных формах.*

ГИС системы разрабатываются с целью решения научных и прикладных задач по мониторингу экологических ситуаций, рациональному использованию природных ресурсов, а также для инфраструктурного проектирования, городского и регионального планирования, для принятия оперативных мер в условиях чрезвычайных ситуаций др.

Множество задач, возникающих в жизни, привело к созданию различных ГИС, которые могут классифицироваться по следующим признакам:

По функциональным возможностям:

- *полнофункциональные ГИС общего назначения;*
- *специализированные ГИС ориентированы на решение конкретной задачи, в какой либо предметной области;*
- *информационно-справочные системы для домашнего и информационно-справочного пользования.*

Функциональные возможности ГИС определяются также архитектурным принципом их построения:

– *закрытые системы* – не имеют возможностей расширения, они способны выполнять только тот набор функций, который однозначно определен на момент покупки.

– *открытые системы* отличаются легкостью приспособления, возможностями расширения, так как могут быть достроены самим пользователем при помощи специального аппарата (встроенных языков программирования).

По пространственному (территориальному) охвату:

- *глобальные* (планетарные);
- *общенациональные*;
- *региональные*;
- *локальные* (в том числе муниципальные).

По проблемно-тематической ориентации:

- *общегеографические*;
- *экологические и природопользовательские*;
- *отраслевые* (водных ресурсов, лесопользования, геологические, туризма и т.д.);

По способу организации географических данных:

- *векторные*;
- *растровые*;
- *векторно-растровые ГИС*.

10.3. Источники данных, их типы и аппаратные (технические) средства ГИС

В качестве источников данных для формирования ГИС служат:

– *картографические материалы* (топографические и общегеографические карты, карты административно-территориального деления, кадастровые планы и др.). Сведения, получаемые с карт, имеют территориальную привязку, поэтому их удобно использовать в качестве базового слоя ГИС. Если нет цифровых карт на исследуемую территорию, тогда графические оригиналы карт преобразуются в цифровой вид;

– *данные дистанционного зондирования (ДДЗ)* все шире используются для формирования баз данных ГИС. К ДДЗ, прежде всего, относят материалы, получаемые с космических носителей. Для дистанционного зондирования применяют разнообразные технологии получения изображений и передачи их на Землю, носители съемочной аппаратуры (космические аппараты и спутники) размещают на разных орбитах, оснащают разной аппаратурой. Благодаря этому получают снимки, отличающиеся разным уровнем обзорности и детальности отображения объектов природной среды в разных диапазонах спектра (видимый и ближний инфракрасный, тепловой инфракрасный и радиодиапазон). Все это обуславливает широкий спектр экологических задач, решаемых с применением ДДЗ.

К методам дистанционного зондирования относятся и аэро- и наземные съемки, и другие неконтактные методы, например гидроакустические съемки рельефа морского дна. Материалы таких съемок обеспечивают получение как количественной, так и качественной информации о различных объектах природной среды.

– *Результаты полевых обследований территорий*, включают геодезические измерения природных объектов, выполняемые нивелирами, теодолитами, электронными тахеометрами, GPS приемниками, а также результаты обследования территорий с применением геоботанических и других методов, например,

исследования по перемещению животных, анализ почв и др.;

– *Статистические данные* содержат данные государственных статистических служб по самым разным отраслям народного хозяйства, а также данные стационарных измерительных постов наблюдений (гидрологические и метеорологические данные, сведения о загрязнении окружающей среды и др.);

– *Литературные данные* (справочные издания, книги, монографии и статьи, содержащие разнообразные сведения по отдельным типам географических объектов).

В ГИС редко используется только один вид данных, чаще всего это сочетание разнообразных данных на какую-либо территорию.

К основным компонентам ГИС относят: *технические* (аппаратные) и *программные средства*, информационное обеспечение.

Требования к компонентам ГИС определяются, в первую очередь, пользователем, перед которым стоит конкретная задача (учет природных ресурсов, либо управление инфраструктурой города), которая должна быть решена для определенной территории, отличающейся природными условиями и степенью ее освоения.

Технические средства – это комплекс аппаратных средств, применяемых при функционировании ГИС: рабочая станция или персональный компьютер (ПК), устройства ввода-вывода информации, устройства обработки и хранения данных, средства телекоммуникации.

Рабочая станция или ПК являются ядром любой информационной системы и предназначены для управления работой ГИС и выполнения процессов обработки данных, основанных на вычислительных или логических операциях. Современные ГИС способны оперативно обрабатывать огромные массивы информации и визуализировать результаты.

Ввод данных реализуется с помощью разных технических средств и методов: непосредственно с клавиатуры, с помощью дигитайзера или сканера, через внешние компьютерные системы. Пространственные данные могут быть получены с электронных геодезических приборов, с помощью дигитайзера или сканера, либо с использованием фотограмметрических приборов

Устройства для обработки и хранения данных сконцентрированы в системном блоке, включающем в себя центральный процессор, оперативную память, внешние запоминающие устройства и пользовательский интерфейс.

Внешние запоминающие устройства подключаются к компьютеру, в качестве таких устройств используются магнитные жесткие диски. Для архивации данных служат оптические и магнитные диски DVD-ROM и устройства с флеш-памятью.

Устройства вывода данных должны обеспечивать наглядное представление результатов, прежде всего на мониторе, а также в виде графических оригиналов, получаемых на принтере или плоттере (графопостроителе), кроме того, обязательна реализация экспорта данных во внешние системы.

Программные средства – совокупность программных средств, реализующих функциональные возможности ГИС, и программных документов, необходимых при их эксплуатации.

Структурно программное обеспечение ГИС включает базовые и прикладные программные средства.

Базовые программные средства включают: операционные системы (ОС), программные среды, сетевое программное обеспечение и системы управления базами данных. Операционные системы предназначены для управления ресурсами компьютеров либо компьютерных систем и процессами, использующими эти ресурсы. В настоящее время основные ОС: Windows и Unix.

Любая ГИС работает с данными двух типов данных – пространственными и атрибутивными, следовательно, программное обеспечение должно включить систему управления базами тех и других данных (СУБД), а также модули управления средствами ввода и вывода данных, систему визуализации данных и модули для выполнения пространственного анализа.

Прикладные программные средства предназначены для решения для специализированных задач в конкретной предметной области и реализуются в виде отдельных модулей (приложений) и утилит (вспомогательных средств).

Информационное обеспечение – совокупность массивов информации, систем кодирования и классификации информации. Информационное обеспечение составляют реализованные решения по видам, объемам, размещению и формам организации информации, включая поиск и оценку источников данных, набор методов ввода данных, проектирование баз данных, их ведение и метасопровождение. Особенность хранения пространственных данных в ГИС – их разделение на слои. Многослойная организация электронной карты, при наличии гибкого механизма управления слоями, позволяет объединить и отобразить гораздо большее количество информации, чем на обычной карте. Данные о пространственном положении (географические данные) и связанные с ними табличные могут подготавливаться самим пользователем либо приобретаться. Для такого обмена данными важна инфраструктура пространственных данных.

Инфраструктура пространственных данных определяется нормативно-правовыми документами, механизмами организации и интеграции пространственных данных, а также их доступность разным пользователям. Инфраструктура пространственных данных включает три необходимых компонента: базовую пространственную информацию, стандартизацию пространственных данных, базы метаданных и механизм обмена данными.

10.4. Отображение объектов реального мира в ГИС

Объекты реального мира, рассматриваемые в геоинформатике, отличаются *пространственными, временными и тематическими характеристиками*.

Пространственные характеристики определяют положение объекта в заранее определенной системе координат, основное требование к таким данным – точность.

Временные характеристики фиксируют время исследования объекта и важны для оценки изменений свойств объекта с течением времени. Основное требование к таким данным – актуальность, что означает возможность их использования для обработки, неактуальные данные – это устаревшие данные.

Тематические характеристики описывают разные свойства объекта, включая экономические, статистические, технические и другие свойства, основное требование – полнота.

Для представления пространственных объектов в ГИС используют *пространственные и атрибутивные типы данных*.

Пространственные данные – сведения, которые характеризуют местоположение объектов в пространстве относительно друг друга и их геометрию. Пространственные объекты представляют с помощью следующих графических объектов: точки, линии, области и поверхности. Описание объектов осуществляется путем указания координат объектов и составляющих их частей.

Точечные объекты – это такие объекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства, представленной парой координат X, Y . В зависимости от масштаба картографирования, в качестве таких объектов могут рассматриваться дерево, дом или город.

Линейные объекты, представлены как одномерные, имеющие одну размерность – длину, ширина объекта не выражается в данном масштабе или не существенна. Примеры таких объектов: реки, границы муниципальных округов, горизонтالي рельефа.

Области (полигоны) – площадные объекты, представляются набором пар координат (X, Y) или набором объектов типа линия, представляющих собой замкнутый контур. Такими объектами могут быть представлены территории, занимаемые определенным ландшафтом, городом или целым континентом.

Поверхность – при ее описании требуется добавление к площадным объектам значений высоты. Восстановление поверхностей осуществляется с помощью использования математических алгоритмов (интерполяции и аппроксимации) по исходному набору координат X, Y, Z .

Дополнительные непространственные данные об объектах образуют набор атрибутов.

Атрибутивные данные – это качественные или количественные характеристики пространственных объектов, выражающиеся, как правило, в алфавитно-цифровом виде. Примеры таких данных: географическое название, видовой состав растительности, характеристики почв и т.п.

Природа пространственных и атрибутивных данных различна, соответственно различны и методы манипулирования (хранения, ввода, редактирования, поиска и анализа) для двух этих составляющих геоинформационной системы. Одна из основных идей, воплощенных в традиционных ГИС – это сохранение связи между пространственными и атрибутивными данными, при раздельном их хранении и, частично, раздельной обработке.

Общее цифровое описание пространственного объекта включает: наименование; указание местоположения; набор свойств; отношения с другими объектами. Наименованием объекта служит его географическое название (если оно есть), его условный код или идентификатор, присваиваемый пользователем или системой.

Однотипные объекты по пространственному и тематическому признакам объединяются в слои цифровой карты, которые рассматриваются как отдельные

информационные единицы, при этом существует возможность совмещения всей имеющейся информации.

Структуры данных. Для представления пространственных данных в ГИС применяют *векторные и растровые структуры данных*.

Векторная структура – это представление пространственных объектов в виде набора координатных пар (векторов), описывающих геометрию объектов.

Растровая структура данных предполагает представления данных в виде двумерной сетки, каждая ячейка которой содержит только одно значение, характеризующее объект, соответствующий ячейке растра на местности или на изображении. В качестве такой характеристики может быть код объекта (лес, луг и т.д.) высота или оптическая плотность.

Точность растровых данных ограничивается размером ячейки. Такие структуры являются удобным средством анализа и визуализации разного рода информации.

Для реализации растровых и векторных структур разработаны различные модели данных.

Модели пространственных данных – логические правила для формализованного цифрового описания пространственных объектов.

Векторные модели данных. Существует несколько способов объединения векторных структур данных в векторную модель данных, позволяющую исследовать взаимосвязи между объектами одного слоя или между объектами разных слоев. Простейшей векторной моделью данных является «*спагетти*»- модель. В этом случае переводится «один в один» графическое изображение карты.

В этой модели не содержится описания отношений между объектами, каждый геометрический объект хранится отдельно и не связан с другими, например общая граница объектов 25 и 26 записывается дважды, хотя с помощью одинакового набора координат. Все отношения между объектами должны вычисляться независимо, что затрудняет анализ данных и увеличивает объем хранимой информации.

Векторные *топологические модели* содержат сведения о соседстве, близости объектов и другие, характеристики взаимного расположения векторных объектов.

Топологическая информация описывается набором узлов и дуг. Узел – это пересечение двух или более дуг, и его номер используется для ссылки на любую дугу, которой он принадлежит. Каждая дуга начинается и заканчивается либо в точке пересечения с другой дугой, либо в узле, не принадлежащем другим дугам. Дуги образуются последовательностью отрезков, соединённых промежуточными точками. В этом случае каждая линия имеет два набора чисел: пары координат промежуточных точек и номера узлов. Кроме того, каждая дуга имеет свой идентификационный номер, который используется для указания того, какие узлы представляют её начало и конец.

Разработаны и другие модификации векторных моделей, в частности, существуют специальные векторные модели для представления моделей поверхностей, которые будут рассмотрены далее.

Растровые модели используются в двух случаях. В первом случае – для

хранения исходных изображений местности. Во втором случае, для хранения тематических слоев, когда пользователей интересуют не отдельные пространственные объекты, а набор точек пространства, имеющих различные характеристики (высотные отметки или глубины, влажность почв и т.д.), для оперативного анализа или визуализации.

Существует несколько способов хранения и адресации значений отдельных ячеек растра, и их атрибутов, названий слоев и легенд. При использовании растровых моделей актуальным является вопрос сжатия растровых данных, для которого разработаны методы группового кодирования, блочного кодирования, цепочного кодирования и представления в виде квадродерева.

Форматы данных определяют способ хранения информации на жестком диске, а также механизм ее обработки. Модели данных и форматы данных определенным способом взаимосвязаны.

Существует большое количество форматов данных. Можно отметить, что во многих ГИС поддерживаются основные форматы хранения растровых данных (TIFF, JPEG, GIF, BMP, WMF, PCX), а также GeoSpot, GeoTIFF, позволяющие передавать информацию о привязке растрового изображения к реальным географическим координатам, и MrSID – для сжатия информации.

Все системы поддерживают обмен пространственной информацией (экспорт и импорт) со многими ГИС и САПР через основные обменные форматы: SHP, E00, GEN (ESRI), VEC (IDRISI), MIF (MapInfo Corp.), DWG, DXF (Autodesk), WMF (Microsoft), DGN (Bentley). Только некоторые, в основном отечественные системы, поддерживают российские обменные форматы – F1M (Роскартография), SXF (Военно-топографическая служба).

Довольно часто для эффективной реализации одних компьютерных операций предпочитают векторный формат, а для других растровый. Поэтому, в некоторых системах реализуются возможности манипулирования данными в том и в другом формате, и функции преобразования векторного в растровый, и наоборот, растрового в векторный форматы.

10.5. Базы данных и управление ими

Совокупность цифровых данных о пространственных объектах образует множество пространственных данных и составляет содержание баз данных.

База данных (БД) – совокупность данных организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными.

Создание БД и обращение к ней (по запросам) осуществляется с помощью системы управления базами данных (СУБД).

Логическая структура элементов базы данных определяется выбранной моделью БД. Наиболее распространенными моделями БД являются *иерархические, сетевые и реляционные и объектно-ориентированные*.

Иерархические модели представляют древовидную структуру, в этом случае каждая запись связана только с одной записью, находящейся на более высоком уровне.

Такая система хорошо иллюстрируется системой классификации растений и животных. Примером может также служить структура хранения информации на дисках ПК. Главное понятие такой модели уровень. Количество уровней и их состав зависит от принятой при создании БД классификации. Доступ к любой из этих записей осуществляется путем прохода по строго определенной цепочке узлов. При такой структуре легко осуществлять поиск нужных данных, но если изначально описание неполное, или не предусмотрен какой либо критерий поиска, то он становится невозможным. Для достаточно простых задач такая система эффективна, но она практически непригодна для использования в сложных системах с оперативной обработкой запросов.

Сетевые модели были призваны устранить некоторые из недостатков иерархических моделей. В сетевой модели каждая запись в каждом узле сети может быть связана с несколькими другими узлами. Записи, входящие в состав сетевой структуры, содержат в себе указатели, определяющие местоположение других записей, связанных с ними. Такая модель позволяет ускорить доступ к данным, но изменение структуры базы требует значительных усилий и времени.

Реляционные модели собирают данные в унифицированные *таблицы*. Таблице присваивается уникальное имя внутри БД. Каждый столбец – это поле, имеющее имя, соответствующее содержащемуся в нем атрибуту. Каждая строка в таблице соответствует записи в файле. Одно и то же поле может присутствовать в нескольких таблицах. Так как строки в таблице не упорядочены, то определяется один или несколько столбцов, значения которых однозначно идентифицируют каждую строку. Такой столбец называется первичным ключом. Взаимосвязь таблиц поддерживается внешними ключами. Манипулирование данными осуществляется при помощи операций, порождающих таблицы. Пользователь может легко заносить в базу новые данные, комбинировать таблицы, выбирая отдельные поля и записи, и формировать новые таблицы для отображения на экране.

Объектно-ориентированные модели применяют, если геометрия определенного объекта способна охватывать несколько слоев, атрибуты таких объектов могут наследоваться, для их обработки применяют специфические методы.

Для обработки данных, размещенных в таблицах необходимы дополнительные сведения о данных, их называют метаданными.

Метаданные – данные о данных: каталоги, справочники, реестры и иные формы описания наборов цифровых данных.

В соответствии с используемыми техническими средствами различают два способа ввода данных: дигитализацию и векторизацию. Для ручного ввода пространственных данных применяется *дигитайзер*. Он состоит из планшета (столика) с электронной сеткой, к которому присоединено устройство называемое курсором. Курсор представляет собой подобие графического манипулятора – мыши, имеет визир, нанесенный на прозрачную пластинку, с помощью которого оператор выполняет точное наведение на отдельные элементы карты. На курсоре помещены кнопки, которые позволяют фиксировать начало и конец линии или границы области, число кнопок зависит от уровня сложности диги-

тайзера. Дигитайзеры бывают разных форматов и обеспечивают разрешение 0,03 мм с общей точностью 0,08 мм на расстоянии 1,5 м. Существуют автоматизированные дигитайзеры, обеспечивающие автоматическое отслеживание линий.

Наибольшее распространение для ввода данных получили *сканеры*. Они позволяют вводить растровое изображение карты в компьютер. Существуют различные типы сканеров, которые различаются: по способу подачи исходного материала (планшетные и протяжные (барабанного типа); по способу считывания информации (работающие на просвет или на отражение); по радиометрическому разрешению или глубине цвета; по оптическому (или геометрическому) разрешению. Последняя характеристика определяется минимальным размером элемента изображения, который различается сканером.

Процесс оцифровывания растрового изображения на экране компьютера называют *векторизацией*. Существует три способа векторизации: *ручной, интерактивный и автоматический*. При ручной векторизации оператор обводит мышью на изображении каждый объект, при интерактивной – часть операций производится автоматически. Так, например, при векторизации горизонталей достаточно задать начальную точку и направление отслеживания линий, далее векторизатор сам отследит эту линию до тех пор, пока на его пути не встретятся неопределенные ситуации, типа разрыва линии. Возможности интерактивной векторизации прямо связаны с качеством исходного материала и сложностью карты. Автоматическая векторизация предполагает непосредственный перевод из растрового формата в векторный с помощью специальных программ, с последующим редактированием. Оно необходимо, поскольку даже самая изощренная программа может неверно распознать объект, принять например, символ за группу точек, и т.п.

Преобразование исходных данных. Отсканированные исходные карты создавались в определенной картографической проекции и системе координат. При оцифровке эта сложная проекция сводится в набор пространственных координат. Поэтому необходимо преобразовать карту к ее исходной проекции. Для этого в ГИС вводятся сведения об используемой проекции (обычно ГИС позволяет работать с большим числом проекций) и осуществляется ряд преобразований. Три основных из них, которые часто выполняются одновременно, это перенос, поворот и масштабирование.

Перенос – это просто перемещение всего графического объекта в другое место на координатной плоскости. Он выполняется добавлением определенных величин к координатам X и Y объекта.

Масштабирование тоже очень полезно, так как часто сканируются карты разных масштабов.

Поворот выполняется с использованием тригонометрических функций.

Все необходимые преобразования могут быть выполнены и использованием этих трех основных графических операций по координатам опорных точек.

Ввод данных дистанционного зондирования. В ГИС используют не первичные материалы ДЗ, получаемые во время съемки, а производные, формируемые в результате их обработки. Данные со спутников подвергаются предва-

рительной цифровой обработке для устранения радиометрических и геометрических искажений, влияния атмосферы и т.д. Для улучшения визуального качества исходных изображений могут применяться процедуры для изменения яркости и контрастности, фильтрации для устранения шумов или подчеркивания контуров и мелких деталей. При использовании аэрофотоснимков следует обращать внимание на искажения, вызываемые углами наклонов снимков и рельефом местности, которые могут быть устранены в процессе трансформирования или ортофототрансформирования.

10.6. Задачи пространственного анализа

К средствам пространственного анализа относятся различные процедуры манипулирования пространственными и атрибутивными данными, выполняемые при обработке запросов пользователя. К ним относятся, например, операции наложения графических объектов, средства анализа сетевых структур или выделения объектов по заданным признакам.

Для каждого ГИС-пакета характерен свой набор средств пространственного анализа, обеспечивающий решение специфических задач пользователя, в то же время можно выделить ряд основных функций, свойственных практически каждому ГИС-пакету. Это, прежде всего, организация выбора и объединения объектов в соответствии с заданными условиями, реализация операций вычислительной геометрии, анализ наложений, построение буферных зон, сетевой анализ.

Основные функции пространственного анализа данных. *Выбор объектов по запросу:* самой простой формой запроса является получение характеристик объекта указанного курсором на экране и обратная операция, когда изображаются объекты с заданными атрибутами. Более сложные запросы позволяют выбирать объекты по нескольким признакам, например по признаку удаленности одних объектов от других, совпадающие объекты, но расположенные в разных слоях и т. д.

Для выбора данных в соответствии с определенными условиями используются SQL-запросы. Для выполнения запросов разной сложности реализованы возможности использования при составлении запросов математических и статистических функций, а также географических операторов, позволяющих выбирать объекты на основании их взаимного расположения в пространстве (например, находится ли анализируемый объект внутри другого объекта или пересекается с ним).

Обобщение данных может проводиться по равенству значений определенного атрибута, в частности для зонирования территории. Еще один способ группировки – объединение объектов одного тематического слоя в соответствии с их размещением внутри полигональных объектов других тематических слоев.

Геометрические функции: к ним относят расчеты геометрических характеристик объектов или их взаимного положения в пространстве, при этом используются формулы аналитической геометрии на плоскости и в пространстве. Так

для площадных объектов вычисляются занимаемые ими площади или периметры границ, для линейных – длины, а также расстояния между объектами и т.д.

Оверлейные операции (топологическое наложение слоев) являются одними из самых распространенных и эффективных средств. В результате наложения двух тематических слоев образуется другой дополнительный слой в виде графической композиции исходных слоев. Учитывая, что анализируемые объекты могут относиться к разным типам (точка, линия, полигон), возможны разные формы анализа: точка на точку, точка на полигон и т.д. Наиболее часто анализируется совмещение полигонов.

Построение буферных зон. Одним из средств анализа близости объектов является построение буферных зон. Буферные зоны – это районы (полигоны), граница которых отстоит на заданном расстоянии от границы исходного объекта. Границы таких зон вычисляются на основе анализа соответствующих атрибутивных характеристик. При этом ширина буферной зоны может быть как постоянной, так и переменной. Например, буферная зона вокруг источника электромагнитного излучения, будет иметь форму круга, а зона загрязнения от дымовой трубы завода с учетом розы ветров будет иметь форму близкую к эллипсу.

Сетевой анализ позволяет пользователю проанализировать пространственные сети связанных линейных объектов (дороги, линии электропередач и т. д.). Обычно сетевой анализ служит для задач определения ближайшего, наиболее выгодного пути, определения уровня нагрузки на сеть, определение адреса объекта или маршрута по заданному адресу и другие задачи

Анализ пространственного распределения объектов. Фактически во многих случаях необходимо знать не только объем пространства, занимаемый объектами, но и расположение объектов в пространстве, которое может характеризоваться количеством объектов в определенной области, например, распределение численности населения. Наиболее распространены методы анализа *распределения точечных объектов*. Мерой точечного распределения служит плотность. Она определяется как результат деления числа точек на значение площади территории, на которой они расположены. Кроме плотности распределения можно оценить форму распределения. Точечные распределения встречаются в одном из четырёх возможных вариантов: равномерном (если число точек в каждой малой подобласти такое же, как и в любой другой подобласти), регулярном (если точки, разделённые одинаковыми интервалами по всей области, расположены в узлах сетки), случайном, кластерном (если точки собраны в тесные группы).

Точечные распределения могут описываться не только количеством точек в пределах подобластей. Часто анализируются локальные отношения внутри пар точек. Вычисление этого статистического показателя включает определение среднего расстояния до ближайшей соседней точки среди всех возможных пар ближайших точек. Данный метод позволяет оценить меру разреженности точек в распределении.

Распределение линий также оценивается по плотности. Обычно вычисления выполняются для сравнения разных географических областей, например по

густоте гидрографической сети. Линии могут также оцениваться по близости и возможным пересечениям. Другими важными характеристиками являются ориентация, направленность и связанность.

Анализ *распределения полигонов* подобен анализу распределения точек, однако при оценке плотности определяют не количество полигонов на единицу площади, а относительную долю площади, занимаемой полигоном

Поверхность и цифровая модель. Основой для представления данных о земной поверхности являются цифровые модели рельефа.

Поверхности – это объекты, которые чаще всего представляются значениями высоты Z , распределенными по области, определенной координатами X и Y .

Цифровые модели рельефа (ЦМР) используют для компьютерного представления земных поверхностей. ЦМР – средство цифрового представления рельефа земной поверхности.

Построение ЦМР требует определённой формы представления исходных данных (набора координат точек X, Y, Z) и способа их структурного описания, позволяющего восстанавливать поверхность путем интерполяции или аппроксимации исходных данных.

Исходные данные для формирования ЦМР могут быть получены по картам – цифрованием горизонталей, по стереопарам снимков, а также в результате геодезических измерений или лазерного сканирования местности. Наиболее распространен первый способ, т.к. сбор по стереопарам снимков отличается трудоемкостью и требует специфического программного обеспечения, но в то же время позволяет обеспечить желаемую степень детальности представления земной поверхности.

Построение ЦМР требует определенной *структуры данных*, а исходные точки могут быть по-разному распределены в пространстве. Сбор данных может осуществляться по точкам регулярной сетки, по структурным линиям рельефа или хаотично. Первичные данные с помощью тех или иных операций приводят к одному из наиболее распространенных в ГИС структур для представления поверхностей: GRID, TIN или TGRID.

TIN (Triangulated Irregular Network) – нерегулярная триангуляционная сеть, система неперекрывающихся треугольников. Вершинами треугольников являются исходные опорные точки. Рельеф в этом случае представляется многогранной поверхностью, каждая грань которой описывается либо линейной функцией (полиэдральная модель), либо полиномиальной поверхностью, коэффициенты которой определяются по значениям в вершинах граней треугольников. Для получения модели поверхности нужно соединить пары точек ребрами определенным способом, называемым триангуляцией Делоне.

Триангуляция Делоне в приложении к двумерному пространству формулируется следующим образом: система взаимосвязанных неперекрывающихся треугольников имеет наименьший периметр, если ни одна из вершин не попадает внутрь ни одной из окружностей, описанных вокруг образованных треугольников.

Образовавшиеся треугольники при такой триангуляции максимально приближаются к равносторонним, а каждая из сторон образовавшихся треугольни-

ков из противоположащей вершины видна под максимальным углом из всех возможных точек соответствующей полуплоскости. Интерполяция выполняется по образованным ребрам.

Отличительной особенностью и преимуществом триангуляционной модели является то, что в ней нет преобразований исходных данных. С одной стороны, это не дает использовать такие модели для детального анализа, но с другой стороны, исследователь всегда знает, что в этой модели нет привнесенных ошибок, которыми грешат модели, полученные при использовании других методов интерполяции. Немаловажен и тот факт, что это самый быстрый метод интерполяции. Однако, если в ранних версиях большинства ГИС триангуляционный метод был основной, то сегодня большое распространение получили модели в виде регулярной матрицы значений высот.

GRID – модель, представляет собой регулярную матрицу значений высот, полученную при интерполяции исходных данных. Для каждой ячейки матрицы высота вычисляется на основе интерполяции. Фактически это сетка, размеры которой задаются в соответствии с требованиями точности конкретной решаемой задачи. Регулярная сетка соответствует земной поверхности, а не изображению.

При использовании *GRID*-модели существует некоторая сложность в выборе интервала между точками. Например, участки поверхности могут быть как сильно пересеченными, так и выположенными. В первом случае необходимо большее количество точек на единицу площади.

TGRID (triangulated grid) – модель, сочетающая в себе элементы моделей *TIN* и *GRID*. Такие модели имеют свои преимущества, например, позволяют использовать дополнительные данные для описания сложных форм рельефа (обрывы, скальные выступы).

Восстановление поверхностей реализуется на основе интерполяции исходных данных.

Интерполяция – восстановление функции на заданном интервале по известным ее значениям конечного множества точек, принадлежащих этому интервалу.

В настоящее время известны десятки методов интерполяции поверхностей, наиболее распространенные: линейная интерполяция; метод обратных взвешенных расстояний, кригинг; сплайн-интерполяция; тренд-интерполяция.

Кригинг. Метод интерполяции, который основан на использовании методов математической статистики. В его реализации применяется идея регионализованной переменной, т.е. переменной, которая изменяется от места к месту с некоторой видимой непрерывностью, поэтому не может моделироваться только одним математическим уравнением. Поверхность рассматривается в виде трех независимых величин. Первая – тренд, характеризует изменение поверхности в определенном направлении. Далее предполагается, что имеются небольшие отклонения от общей тенденции, вроде маленьких пиков и впадин, которые являются случайными, но все же, связанными друг с другом пространственно.

Наконец, имеется *случайный шум* (например, валуны). С каждой из трех переменных надо оперировать в отдельности. Тренд оценивается с использова-

нием математического уравнения, которое наиболее близко представляет общее изменение поверхности, во многом подобно поверхности тренда.

Ожидаемое изменение высоты измеряется по вариограмме, на которой по горизонтальной оси откладывается расстояние между отсчетами, а на вертикальной – полудисперсия. Полудисперсия определяется как половина дисперсии между значениями высоты исходных точек и высот соседних точек. Затем через точки данных проводится кривая наилучшего приближения. Дисперсия в какой-то момент достигает максимума и остается постоянной (выявляется предельный радиус корреляции).

Интерполяция методом кригинга в большинстве случаев дает хорошие результаты, даже когда плотность исходных точек не велика. Однако, при некотором расположении точек возможно появление резких пиков и впадин.

Метод обратных взвешенных расстояний. Этот метод основан на предположении, что чем ближе друг к другу находятся исходные точки, тем ближе их значения. Для точного описания топографии набор точек, по которым будет осуществляться интерполяция, необходимо выбирать в некоторой окрестности определяемой точки, так как они оказывают наибольшее влияние на ее высоту. Это достигается следующим образом. Вводится максимальный радиус поиска или количество точек, ближайших по расстоянию от начальной (определяемой) точки. Затем значению высоты в каждой выбранной точке задается вес, вычисляемый в зависимости от квадрата расстояния до определяемой точки. Этим достигается, чтобы более близкие точки вносили больший вклад в определение интерполируемой высоты по сравнению с более удаленными точками.

Тренд интерполяция. В некоторых случаях исследователя интересуют общие тенденции поверхности, которые характеризуются поверхностью тренда.

Аналогично методу обратных взвешенных расстояний для поверхности тренда используется набор точек в пределах заданной окрестности. В пределах каждой окрестности строится поверхность наилучшего приближения на основе математических уравнений, таких как полиномы или сплайны.

Поверхности тренда могут быть плоскими, показывая общую тенденцию или более сложными. Тип используемого уравнения или степень полинома определяет величину волнистости поверхности. Например, поверхность тренда первого порядка будет выглядеть как плоскость, пересекающая под некоторым углом всю поверхность. Если поверхность имеет один изгиб, то такую поверхность называют поверхностью тренда второго порядка.

Сплайн интерполяция. Возможность описания сложных поверхностей с помощью полиномов невысоких степеней определяется тем, что при сплайн интерполяции вся территория разбивается на небольшие непересекающиеся участки. Аппроксимация полиномами осуществляется отдельно для каждого участка. Обычно используют полином третьей степени – кубический сплайн. Затем строится общая функция «склейки» на всю область, с заданием условия непрерывности на границах участков и непрерывности первых и вторых частных производных, т.е. обеспечивается гладкость склеивания полиномов.

Сглаживание сплайн-функциями особенно удобно при моделировании поверхностей, осложненных разрывными нарушениями, и позволяет избежать ис-

кажения типа «краевых эффектов».

Основными процессами построения ЦМР по картам являются:

1) *Преобразование исходных карт в растровые изображения, т.е. сканирование.* При сканировании важным является выбор разрешения получаемого изображения, излишне высокое разрешение требует больших объемов памяти для хранения исходной информации, в тоже время разрешение должно обеспечить необходимую точность сбора информации, которая определяется целями формирования ЦМР;

2) *Монтаж растровых фрагментов.* Монтаж или «сшивка» – это стыковка нескольких изображений произвольной формы в одно таким образом, чтобы границы между исходными изображениями были незаметны. При монтаже осуществляется геопривязка растровых данных. В ГИС имеются различные модули для решения этой задачи;

3) *Векторизация растрового изображения.* Векторизация, или дигитализация горизонталей может выполняться в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах. Для различных ГИС разработаны отдельные модули, реализующие эту задачу в автоматических режимах, например, Map Edit;

4) *Формирование ЦМР.* ЦМР создается на основе методов интерполяции и может быть представлена в разных форматах;

5) *Визуализация результатов.* ЦМР обеспечивает визуализацию информации о поверхностях в разных формах.

В общем случае можно сказать, что чем больше исходных точек, тем более точной будет интерполяция и тем с большей вероятностью построенная модель поверхности будет адекватно отображать земную поверхность. Однако, существует предел числу точек (дискретности), поскольку для любой поверхности излишнее количество точек обычно не улучшает существенно качество результата, но лишь увеличивает объем данных и время вычислений. В некоторых случаях избыточные данные в отдельных областях могут приводить к неравномерному представлению поверхности и, следовательно, неодинаковой точности. Другими словами, большее число точек не всегда повышает точность.

Конечно, чем сложнее поверхность, тем больше исходных точек требуется. А для сложных объектов, таких как впадины и долины рек, требуются дополнительные точки, чтобы гарантировать представление с достаточной детальностью. Особая проблема интерполяции точек на границе исследуемых областей, например, граница листа карты. В этом случае следует для интерполяции использовать большую область перекрытия соседних листов.

Использование ЦМР. ЦМР важны для решения целого ряда прикладных экологических задач, в частности для прогнозирования чрезвычайных ситуаций, например, наводнений, оценки степени нарушенности ландшафтов и т.д.. По результатам анализа ЦМР средствами ГИС получают карты углов наклона (уклонов) местности и экспозиций склонов, формируют продольные и поперечные профили по заданному направлению, выполняют оценку зон видимости с намеченных точек обзора и др. Для отображения ЦМР используют разные формы.

10.7. Электронные карты и атласы

Визуализация (графическое воспроизведение, отображение) – генерация изображений, в том числе и картографических, и иной графики на устройствах отображения (преимущественно на мониторе) на основе преобразования исходных цифровых данных с помощью специальных алгоритмов.

Наиболее компактными и привычным способом представления географической информации остаются карты.

Электронная карта (ЭК) – картографическое изображение, визуализированное на мониторе, на основе цифровых карт или баз данных ГИС.

Электронный атлас (ЭА) – система визуализации в форме электронных карт, электронное картографическое произведение, функционально подобное электронной карте. Поддерживаются программным обеспечением типа картографических браузеров, обеспечивающих покадровый просмотр растровых изображений карт, картографических визуализаторов, систем настольного картографирования. Помимо картографического изображения и легенд электронные атласы обычно включают обширные текстовые комментарии, табличные данные, а мультимедийные электронные атласы – анимацию, видеоряды и звуковое сопровождение.

Таблицы и графики, включающие различные характеристики объектов (атрибуты) или их соотношения, могут использоваться как самостоятельные или дополнительные к другим средствам визуализации.

Анимации применяют для показа динамических процессов, т.е. последовательный показ рисованных статичных изображений (кадров), в результате чего создается иллюзия непрерывной смены изображений.

Для отображения результатов анализа данных в ГИС реализованы ряд способов, которые применяют при создании тематических карт.

Способ размерных символов (значков) – анализируемые характеристики объектов отображаются специальными символами, размер которых передаёт количественную информацию, а форма и цвет качественную информацию.

Способ качественного или (количественного фона) – в этом случае группируются данные с близкими значениями и созданным группам присваиваются определенные цвета, типы символов или линий.

Точечный способ – изобразительным средством является множество точек одинакового размера, каждая из которых имеет определенное значение количественного показателя.

Столбчатые и круговые локализованные диаграммы – позволяют отобразить соотношение нескольких характеристик, при этом диаграммы имеют географическую привязку (например, в точке размещения поста наблюдений показывают соотношение загрязняющих веществ).

Способ изолиний – один из широко распространённых способов отображения различных показателей. С их помощью формируют карты изогипс (топографические и гипсометрические), карты изотерм, изобар, изокоррелят и др. С помощью изолиний выделяются территории, которые характеризуются одинаковыми свойствами (температурами, давлением, осадками, одновременностью

наступления событий, равной величиной аномалий, равными скоростями тектонических движений и др.)

При этом различают две группы изолиний: истинные изолинии (характеризуют непрерывное изменение какого-либо показателя, к ним относятся горизонтали) и псевдоизолинии, отображающие данные, имеющие статистическую природу (например, дискретные значения от источников выбросов). Для представления изолиний применяют разные изобразительные средства: линии разных типов, толщины и цвета, послойная цветовая окраска фона (либо штриховка) промежутков между изолиниями.

Трехмерное изображение поверхности (3D-поверхность) – средство цифрового объемного представления поверхностей в виде проволочных диаграмм, при этом используются различные типы проекции, при этом изображение можно поворачивать и наклонять, используя простой графический интерфейс.

Для отображения рельефа по данным ЦМР могут быть сформированы растровые изображения.

Растровая поверхность (изображение) – формируется по Grid-модели, при этом каждому пикселю присваивается значение, пропорциональное высоте соответствующей ячейки сетки.

Теневой рельеф (аналитическая отмывка рельефа) – растровое изображение ЦМР, при формировании которого кроме высоты каждого участка сетки Grid-модели, учитывается освещенность склонов.

Реализованы возможности совмещения 3D-поверхностей с другими тематическими слоями. Для достижения реалистичности отображения объектов местности 3D-поверхности совмещаются с картографическими или ортоизображениями.

Виртуальная модель местности (ВММ) – модель местности, содержащая информацию о рельефе земной поверхности, ее спектральных яркостях и объектах, расположенных на данной территории, предназначена для интерактивной визуализации. ВММ позволяет обеспечить эффект присутствия на местности, может быть отображена в виде трехмерной статической сцены (3D-вид) или в режиме имитации полета над местностью, когда наблюдатель находится в точке с заданными координатами.

10.8. Этапы и правила проектирования ГИС

Применение ГИС для решения различных задач, в разных организационных схемах и с разными требованиями, обуславливает разные подходы к процессу проектирования ГИС.

Выделяют пять основных этапов процесса проектирования ГИС.

1. *Анализ системы принятия решений.* Процесс начинается с определения всех типов решений, для принятия которых требуется информация. Должны быть учтены потребности каждого уровня и функциональной сферы.

2. *Анализ информационных требований.* Определяется, какой тип информации нужен для принятия каждого решения.

3. *Агрегирование решений,* т.е. группировка задач, в которых для принятия

решений требуется одна и та же или значительно перекрывающаяся информация.

4. *Проектирование процесса обработки информации.* На данном этапе разрабатывается реальная система сбора, хранения, передачи и модификации информации. Должны быть учтены возможности персонала по использованию вычислительной техники.

5. *Проектирование и контроль за системой.* Важнейший этап – это создание и воплощение системы. Оценивается работоспособность системы с разных позиций, при необходимости осуществляется корректировка. Любая система будет иметь недостатки, и поэтому её необходимо делать гибкой и приспособляемой.

Геоинформационные технологии призваны автоматизировать многие трудоёмкие операции, ранее требовавшие больших временных, энергетических, психологических и других затрат от человека. Однако разные этапы технологической цепочки поддаются большей или меньшей автоматизации, что в значительной степени может зависеть от правильной постановки исходных задач.

Прежде всего, это формулирование требований к используемым информационным продуктам и выходным материалам, получаемым в результате обработки. Сюда можно отнести требования к распечатке карт, таблиц, списков, документов; к поиску документов и т.д. В результате должен быть создан документ с условным названием «Общий список входных данных».

Следующий шаг – определение приоритетов, очередности создания и основных параметров (территориального охвата, функционального охвата и объёма данных) создаваемой системы. Далее устанавливаются требования к используемым данным с учётом максимальных возможностей их применения.

Вопросы по Главе 10:

1. Что такое ГИС?
2. Каковы основные функции ГИС-систем?
3. Дайте классификацию ГИС-систем.
4. Расскажите об источниках данных, применяемых в ГИС.
5. Опишите основные типы и аппаратно-технические средства ГИС.
6. Раскройте методы отображения природных объектов в ГИС.
7. Что такое базы данных ГИС и как ими управлять?
8. Раскройте основные задачи пространственного анализа в ГИС.
9. Что такое электронные карты и атласы и какова процедура их создания?

Глава 11

Оценка воздействия на окружающую среду, экологическая экспертиза, экологический аудит и экологический риск

11.1. Оценка воздействия на окружающую среду

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) представляет собой процедуру учета экологических требований законодательства РФ в системе подготовки хозяйственных, в том числе предпроектных, проектных и других решений, направленных на выявление и предупреждение неприемлемых для общества экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий ее реализации, а также оценка инвестиционных затрат на природоохранные мероприятия. Любая хозяйственная деятельность оказывает то или иное негативное воздействие на окружающую среду, и в этом случае необходимо определить, насколько это воздействие соответствует тем экономическим выгодам, которые получаются от реализации данной деятельности. Таким образом, оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) – это процесс, способствующий принятию экологически ориентированного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учета общественного мнения, разработки мер по уменьшению и предотвращению воздействий.

Целью проведения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) является определение характера и степени опасности всех потенциальных видов воздействий намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и здоровье населения, оценка экологических, экономических и социальных последствий этого воздействия, а также предотвращение или смягчение воздействия этой деятельности. Оценка воздействия является правовым процессом, обязательным при разработке любого проекта.

Основные задачи ОВОС вытекают из указанной цели и должны решаться в соответствии с требованиями документов, обеспечивающих соблюдение природоохранного законодательства, таких как:

- Закон РФ «Об охране окружающей среды», Федеральные законы «Об охране атмосферного воздуха», «Об особо охраняемых природных территориях», «Об экологической экспертизе», «Водный кодекс РФ», «Лесной кодекс РФ», «Земельный кодекс РФ»;

- Положение об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации № 372 от 16 мая 2000 г.;

- Федеральный закон об экологической экспертизе. (Принят Государственной Думой 19 июля 1995 года, одобрен Советом Федерации 15 ноября 1995 г.).

В перечень основных задач, которые должны быть решены в процессе оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), входят:

- *оценка состояния окружающей среды до реализации проектных реше-*

ний, то есть определение исходных характеристик и параметров компонентов окружающей среды, которые могут быть затронуты в процессе хозяйственной деятельности;

- выявление основных факторов и видов негативного воздействия в связи с реализацией планируемой деятельности: загрязнение атмосферного воздуха, акустическое воздействие, воздействие на геологическую среду, загрязнение поверхностных и подземных вод, загрязнение почв, общее экологическое воздействие;

- обоснование показателей предельно допустимого воздействия и правил природопользования, исходя из лимитирующих экологических факторов намечаемого вида деятельности. Нормативы и правила должны обеспечить устойчивое развитие биогеоценозов в рамках природноизмененных геосистем;

- разработка рекомендаций и мероприятий по ограничению или нейтрализации всех основных видов воздействий с учетом современных достижений в этой области, использования ресурсосберегающих технологий, систем защиты окружающей среды и т.п.

Для решения поставленных задач и создания документов по ОВОС проводится комплекс экологических исследований по оценке воздействия намечаемого объекта на компоненты окружающей среды, а именно:

- оценка возможного загрязнения атмосферного воздуха;
- оценка акустического воздействия;
- оценка влияния намечаемой деятельности на поверхностные и подземные воды;
- оценка возможного воздействия на почвенный и растительный покров;
- оценка рекреационного воздействия на прилегающие территории;
- разработка природоохранных мероприятий, способствующих снижению негативных последствий.

11.2. Экологическая экспертиза

Экологическая экспертиза – это установление соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям и определение допустимости реализации объекта экспертизы в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую природную среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы. Нормативно-правовой базой проведения государственных экологических экспертиз на территории Российской Федерации являются закон «Об экологической экспертизе», принятый в конце 1995 года, и «Регламент по проведению государственной экологической экспертизы» от 17.06.1997 г.

В Российской Федерации осуществляются государственная экологическая экспертиза и общественная экологическая экспертиза.

Государственная экологическая экспертиза осуществляется в соответствии с Законом РСФСР «Об охране окружающей природной среды» от 19.12.1991 г. № 2060-1, Федеральным законом «Об экологической экспертизе», «Положени-

ем о порядке проведения государственной экологической экспертизы», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 11.06.1996 г. № 698, и другими нормативными и методическими документами.

Государственная экологическая экспертиза организуется и проводится специально уполномоченными государственными органами в области экологической экспертизы в порядке, установленном Федеральным законом и нормативными правовыми актами Российской Федерации, а также нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации. Государственная экологическая экспертиза проводится на федеральном уровне и уровне субъектов Российской Федерации.

В соответствии с законом «Об экологической экспертизе» основными принципами проведения экологической экспертизы являются:

- *презумпция потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности;*
- *обязательность проведения государственной экологической экспертизы до принятия решений о реализации объекта экологической экспертизы;*
- *комплексность оценки воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду;*
- *независимость экспертов экологической экспертизы при осуществлении ими своих полномочий;*
- *научная обоснованность, объективность и законность заключений экологической экспертизы;*
- *гласность, участие общественных организаций (объединений), учет общественного мнения; ответственность участников экологической экспертизы за ее качество.*

Целями экологической экспертизы являются:

- *определение соответствия намечаемой деятельности требованиям, установленным нормативными правовыми актами РФ и субъектов РФ по вопросам охраны окружающей природной среды;*
- *определение полноты выявления масштабов прогнозируемого воздействия на окружающую среду в результате осуществления намечаемой деятельности;*
- *определение экологической обоснованности и допустимости реализации намечаемой деятельности;*
- *обеспечение достаточности предусмотренных мер экологической безопасности и сохранению природного потенциала.*

Согласно действующему законодательству обязательной государственной экологической экспертизе, проводимой на федеральном уровне, подлежат:

– проекты правовых актов Российской Федерации нормативного и ненормативного характера, реализация которых может привести к негативным воздействиям на окружающую природную среду, нормативно-технических и инструктивно-методических документов, утверждаемых органами государственной власти Российской Федерации, регламентирующих хозяйственную и иную деятельность, которая может оказывать воздействие на окружающую природную среду, в том числе использование природных ресурсов и охрану окружающей

природной среды, за исключением проектов индивидуальных правовых актов, принимаемых на основании документов территориального планирования и документации по планировке территории, лесоустроительной и землеустроительной документации, прошедших государственную экологическую экспертизу;

– материалы, подлежащие утверждению федеральными органами исполнительной власти и предшествующие разработке прогнозов развития и размещения производительных сил на территории Российской Федерации, в том числе:

1) проекты комплексных и целевых федеральных социально-экономических, научно-технических и иных федеральных программ, при реализации которых может быть оказано воздействие на окружающую природную среду;

2) проекты генеральных планов развития территорий свободных экономических зон и территорий с особым режимом природопользования и ведения хозяйственной деятельности;

3) проекты схем развития отраслей народного хозяйства Российской Федерации, в том числе промышленности;

4) проекты генеральных схем расселения, природопользования и территориальной организации производительных сил Российской Федерации;

5) проекты схем расселения, природопользования и территориальной организации производительных сил крупных регионов и национально-государственных образований;

6) проекты межгосударственных инвестиционных программ, в которых участвует Российская Федерация, и федеральных инвестиционных программ;

7) проекты комплексных схем охраны природы Российской Федерации;

– технико-экономические обоснования и проекты строительства, реконструкции, расширения, технического перевооружения, консервации и ликвидации организаций и иных объектов хозяйственной деятельности Российской Федерации и другие проекты независимо от их сметной стоимости, ведомственной принадлежности и форм собственности, осуществление которых может оказать воздействие на окружающую природную среду в пределах территории двух и более субъектов Российской Федерации, в том числе материалы по созданию гражданами или юридическими лицами Российской Федерации с участием иностранных граждан или иностранных юридических лиц организаций, объем иностранных инвестиций в которые превышает пятьсот тысяч долларов;

– технико-экономические обоснования и проекты хозяйственной деятельности, которая может оказывать воздействие на окружающую природную среду сопредельных государств, или для осуществления которой необходимо использование общих с сопредельными государствами природных объектов, или которая затрагивает интересы сопредельных государств, определенные «Конвенцией об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте»;

– материалы по созданию организаций горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, предусматривающие использование природных ресурсов, которые находятся в ведении Российской Федерации;

– проекты международных договоров;

– документация, обосновывающая соглашения о разделе продукции и концессионные договоры, а также другие договоры, предусматривающие использование природных ресурсов и (или) отходов производства, находящихся в ведении Российской Федерации;

– материалы обоснования лицензий на осуществление деятельности, способной оказать воздействие на окружающую природную среду, выдача которых относится в соответствии с законодательством Российской Федерации к компетенции федеральных органов исполнительной власти;

– проекты технической документации на новую технику, технологию, материалы, вещества, сертифицируемые товары и услуги, которые входят в перечень, утверждаемый федеральным специально уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы, в том числе на закупаемые за рубежом товары;

– материалы комплексного экологического обследования участков территорий, обосновывающие придание этим территориям правового статуса особо охраняемых природных территорий федерального значения, зоны экологического бедствия или зоны чрезвычайной экологической ситуации, а также программы реабилитации этих территорий;

– проекты схем охраны и использования водных, лесных, земельных и других природных ресурсов, находящихся в ведении Российской Федерации;

– документация на изменение функционального статуса, вида и характера использования территорий федерального значения, в том числе материалы, обосновывающие перевод лесных земель в нелесные;

– иные виды документации, обосновывающей хозяйственную и иную деятельность, которая способна оказывать прямое или косвенное воздействие на окружающую природную среду в пределах территорий двух и более субъектов Российской Федерации;

– объекты государственной экологической экспертизы, приведенные в настоящей статье и ранее получившие положительное заключение государственной экологической экспертизы, в случае:

1) доработки объекта экологической экспертизы, по замечаниям проведенной ранее государственной экологической экспертизы;

2) изменения условий природопользования специально уполномоченным государственным органом в области охраны окружающей природной среды;

3) реализации объекта государственной экологической экспертизы с отступлениями от документации, получившей положительное заключение государственной экологической экспертизы, и (или) в случае внесения изменений в указанную документацию;

4) истечения срока действия положительного заключения государственной экологической экспертизы;

5) внесения в проектную и иную документацию изменений после получения положительного заключения государственной экологической экспертизы.

Результатом проведения государственной экологической экспертизы является заключение государственной экологической экспертизы.

Заключением государственной экологической экспертизы является доку-

мент, подготовленный экспертной комиссией государственной экологической экспертизы, содержащий обоснованные выводы о допустимости воздействия на окружающую природную среду хозяйственной и иной деятельности..., и о возможности реализации объекта государственной экологической экспертизы.

Заключение, подготовленное экспертной комиссией государственной экологической экспертизы, после его утверждения специально уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы приобретает статус заключения государственной экологической экспертизы.

11.3. Экологический аудит

Экологический аудит является неотъемлемой составной частью системы управления окружающей средой.

Экологический аудит – объективная систематическая документированная и регулярно повторяемая проверка состояния охраны окружающей среды на предприятии. При этом за основу принимается сопоставление результатов, достигнутых предприятием, со стоящими перед ним целями.

Система управления окружающей средой дает предприятию возможность связать цели и задачи в области экологии с финансовыми результатами деятельности и обеспечить ситуацию, когда используемые ресурсы приносят наибольшую выгоду, как в финансовом отношении, так и в части охраны окружающей среды.

Основные задачи экологического аудита – сбор достоверной информации о производственной деятельности объекта и формировании на ее основе выводов относительно реального экологического состояния объекта.

Развитие и распространение процедуры экологического аудита как в России, так и за рубежом обусловлено главным образом ужесточением экологического законодательства, унификацией требований и стандартов в области торговли, кредитной и финансовой политики в связи с созданием единого экологического пространства.

Экологический аудит, изначально введенный в экономически развитых государствах в 70-е годы XX века как средство защиты интересов предпринимательских структур, был направлен на снижение уровня риска для окружающей среды и здоровья населения. С середины 80-х годов Международная торговая палата рассматривает экологический аудит в качестве метода внутреннего административного управления для усиления контроля за производственной практикой и оценкой соответствия стратегии деятельности компаний нормам экологического права. С начала 90-х годов многие коммерческие банки стали использовать экологический аудит в целях предупреждения риска неплатежей по ссудам своих заемщиков и банкротства в связи с деятельностью в области охраны окружающей среды. К примеру, Всемирный банк и Европейский банк реконструкции и развития используют экологический аудит для оценки деятельности финансируемых ими компаний и структур.

В ряде стран начиная с 90-х годов XX века приняты национальные стандарты в этой области. За рубежом Европейская система экологического ме-

менеджмента и экологического аудита (EMAS) начиная с 1993 года стала реальным инструментом экологической политики. Целью введения EMAS было содействие улучшению характеристик окружающей среды, связанной с промышленной деятельностью, за счет вовлечения компаний в процесс активного управления окружающей средой. Данные правила предусматривают снижение воздействий на окружающую среду до уровня, соответствующего применению экономически обоснованной и лучшей из доступных технологий. При этом указанная схема не должна противоречить существующим законам ЕС или техническим стандартам, относящимся к управлению окружающей средой и наносить ущерб деятельности других компаний. Компания, решившая стать участником EMAS, должна выполнить ряд условий, а именно: официально принять Политику в области окружающей среды; произвести проверку своей деятельности и с учетом ее результатов разработать Программу в области окружающей среды; внедрить Систему управления окружающей средой; обеспечить проведение экологического аудита, а также подготовить Заявление по окружающей среде. С этой целью создается Система (Регистр) для аккредитации указанных фирм и наблюдения за их деятельностью. Таким образом, если предприятие или фирма не отвечает декларированным требованиям в области экологической политики, оно исключается из Регистра. Эффективное применение системы EMAS началось с конца 1995 г., когда европейские предприниматели присоединились к системе экологического аудита. Уже в марте 1996 г. в ЕС было зарегистрировано 142 фирмы, участвующих в реализации данной программы.

Широкое внедрение экологического менеджмента и экологического аудита обусловлено двумя основными причинами:

- 1) экологические показатели становятся все более весомым фактором конкурентной борьбы;

- 2) усиливаются экономические и административные санкции за нарушение требований законодательства в области охраны окружающей среды и экологических стандартов.

Аудит, как элемент обеспечения прав собственности, чрезвычайно важен для экономики, так как позволяет уменьшить информационный и коммерческий риск, связанный с принятием управленческих решений с целью выработки рекомендаций по эффективному использованию ресурсов в области природопользования и охраны окружающей среды.

Следует учитывать, что до 1998 года процедура экологического аудита в России выполнялась в основном зарубежными экоаудиторскими фирмами или их представительствами. В настоящее время деятельность по экологическому аудиту в России проводится в соответствии с Федеральными законами РФ «Об охране окружающей среды» (№ 7-ФЗ от 10 января 2002 г.) и «Об аудиторской деятельности» (№ 307-ФЗ от 30 декабря 2008 г.). И определяется тем, что российские предприятия, имеющие выход на международные рынки, обязаны проводить международную согласованную процедуру экологического аудита и получать соответствующий сертификат по экологической безопасности производства и продукции. То есть, если предприятие соответствует требованиям ISO

14000, то обеспечивается конкурентоспособность ее продукции на мировом рынке.

Проведение процедуры экологического аудита позволяет:

- *оптимизировать финансовые затраты предприятия с учетом экологических факторов;*
- *предупредить случаи возникновения ущерба, связанного с загрязнением окружающей среды и нерациональным природопользованием; улучшить взаимоотношения с природоохранными органами и населением;*
- *добиться определенных финансовых льгот, субсидий, корректировки платежей за природопользование с учетом реального вклада предприятий - природопользователей в оздоровление окружающей среды;*
- *перейти на международно-признанные стандарты и процедуры экологического управления, что связано с интеграцией российских предприятий в систему мировой экономики и международной экологической безопасности.*

Помимо основных проблем, экологический аудит может и должен решать ряд функциональных задач. Стратегические задачи экологического аудита лежат в сфере обоснования экологизированной стратегии развития предприятия (его политики) в соответствии с планами развития на основании данных, полученных в процессе экологического аудита:

- *повышение эффективности использования сырьевых и энергетических ресурсов;*
- *уменьшение отрицательного воздействия производства на окружающую среду за счет уже имеющихся методов и средств, не требующих значительных дополнительных затрат;*
- *концентрация усилий и средств на развитии наиболее приоритетных направлений деятельности;*
- *предотвращение локальных экологических проблем и чрезвычайных ситуаций;*
- *улучшение отношений с органами местной власти и государственного экологического контроля, экологической общественностью;*
- *создание и укрепление благоприятного имиджа предприятий;*
- *снижение платежей за природные ресурсы и загрязнение окружающей природной среды.*

В настоящее время имеется более 120 российских фирм, имеющих федеральную лицензию на вид деятельности «Экологический аудит». Ведется реестр экологов-аудиторов Российской Федерации, реестр фирм, имеющих лицензию на вид деятельности «Экологический аудит», а также реестр предприятий, организаций и учреждений, которые провели экологический аудит и присоединились к системе экологического управления в России.

Данная работа может осуществляться в сотрудничестве Министерства природных ресурсов России, Торгово-промышленной палаты России и Госстандарта России.

11.4. Экологический риск

Агентство по защите окружающей среды США рассматривает экологические риски (ecological risks) отдельно от рисков, угрожающих здоровью людей (health risks). По мнению экспертов Агентства, в начале 90-х годов XX века самыми серьезными экологическими рисками были следующие:

- *глобальное изменение климата;*
- *обеднение озонового слоя в стратосфере;*
- *изменение компонентов среды обитания;*
- *гибель популяций и потери в биологическом разнообразии.*

Кроме того эксперты указали в качестве наиболее серьезных перечисленные ниже риски угрозы здоровью людей:

- *загрязнение атмосферного воздуха (газами, аэрозолями);*
- *накопление радиоактивного газа радона в помещениях;*
- *загрязнение воздуха в помещениях;*
- *загрязнение питьевой воды;*
- *присутствие химических загрязнителей (токсикантов) на рабочих местах;*
- *загрязнение почв и вод пестицидами;*
- *обеднение озонового слоя в стратосфере.*

Сопоставление этих перечней показывает, что разделение рисков на экологические и риски угрозы здоровью является условным и неоднозначным. Видно, что при этом обеднение озонового слоя приходится включать в оба списка. Распространение пестицидов приняло такие масштабы (их следы обнаружены даже в тканях, обитающих в Антарктиде пингвинов), что вызываемый пестицидами риск следует считать не только риском угрозы здоровью, но и экологическим. То же можно сказать и о загрязнении воздуха и воды, которое наблюдается повсеместно.

При проведении социологических опросов, направленных на выявление приоритетов в обеспокоенности людей состоянием среды обитания, экологические риски не отделяют от рисков, угрожающих здоровью. Ниже в виде ранжированного по значимости позиций списка приводятся результаты такого опроса, выполненного в 1990 г. в США (перечислены первые 20 рисков из длинного перечня; в скобках указан процент опрошенных, классифицировавших соответствующий экологический риск как «очень серьезный»).

1. Действующие полигоны захоронения опасных отходов (67%).
2. Недействующие (старые) полигоны захоронения опасных отходов (65%).
3. Загрязнение воды стоками промышленных предприятий (63%).
4. Химические токсиканты на рабочих местах (63%).
5. Разливы нефти и нефтепродуктов (60%).
6. Разрушение озонового слоя (60%).
7. Аварии на атомных электростанциях (60%).
8. Аварии в промышленности, приводящие к выбросам загрязнителей (58%).

9. Излучение от радиоактивных отходов (58%).
10. Загрязнение воздуха промышленными предприятиями (56%).
11. Утечки из подземных хранилищ нефтепродуктов (55%).
12. Загрязнение прибрежных вод (54%).
13. Твердые отходы и мусор (53%).
14. Риск от пестицидов для фермеров (52%).
15. Загрязнение воды стоками сельскохозяйственных предприятий (51%).
16. Загрязнение воды очистными сооружениями (50%).
17. Загрязнение воздуха транспортными средствами (50%).
18. Остаточные пестициды в пищевых продуктах (49%).
19. Парниковый эффект (48%).
20. Загрязнение питьевой воды (46%).

Сравнение этого перечня с приведенными выше мнениями экспертов показывает, что простые люди и специалисты по-разному оценивают важность того или иного экологического риска. Так, опрос общественного мнения не выявил повышенной обеспокоенности ни глобальным изменением климата, ни воздействием радиоактивного газа (радона), ни сокращением биологического разнообразия. Эксперты и неспециалисты расходятся в оценках серьезности риска, вызываемого постоянно возрастающим количеством полигонов захоронения опасных отходов. Подобные различия отчасти обусловлены различием в информированности экспертов и обывателей, однако специальные исследования выявили и ряд иных причин. Оказалось, что весьма существенными являются факторы и механизмы восприятия риска, которые представлены в главе 3 настоящего учебного пособия.

В 1994 г. несколько международных организаций – Программа ООН по окружающей среде (UNEP), Организация объединенных наций по промышленному развитию (UNIDO), Международное агентство по атомной энергии (IAEA) и Всемирная организация здравоохранения (WHO) – разработали рекомендации по оценке и управлению рисками, связанными с угрозами здоровью людей и состоянию среды обитания в результате действия энергетических и промышленных комплексов. В состав этих рекомендаций входят основные признаки экологических рисков, связанных с угрозами здоровью и жизни людей и состоянию среды обитания, они перечислены в табл.11.1.

Таблица показывает, что экологические риски, связанные с угрозой здоровью и жизни людей, с одной стороны, и с угрозой состоянию среды обитания, с другой, характеризуются как одинаковыми, так и различными признаками. И те и другие риски могут происходить от источников непрерывного или разового действия. К источникам непрерывного действия относятся вредные выбросы от стационарных установок, а также от транспортных систем. К ним же следует отнести результаты использования в сельском хозяйстве удобрений, инсектицидов и гербицидов. Непрерывными поставщиками загрязнителей в среду обитания являются места сосредоточения промышленных и бытовых отходов (отвалы пород вблизи угольных шахт, хвостохранилища горно-металлургических предприятий, городские свалки и т.п.). Разовыми источниками являются аварийные выбросы вредных веществ в результате взрывов или других аварийных

ситуаций на промышленных объектах, а также серьезные дорожно-транспортные происшествия при перевозке ядовитых веществ. Причинами разовых выбросов могут быть, разумеется, и природные катастрофы (землетрясения и оползни, бури и ураганы, наводнения и вулканические извержения).

Таблица 11.1

Основные признаки экологических рисков, связанных с угрозой здоровью людей и состоянию среды обитания

Категории	Для людей	Для среды обитания
Характер действия источника риска	Непрерывный Разовый (аварийный)	Непрерывный Разовый (аварийный)
Контингент (группы) риска	Население данной местности Персонал предприятия	
Продолжительность действия	Кратковременное Средней длительности Длительное	Кратковременное Средней длительности Длительное
Последствия	По степени тяжести: фатальные (риск смерти), нефатальные (риск травмы болезни и т.п.) По времени проявления: немедленные отдаленные	По распространению: Локальные Региональные Глобальные По продолжительности: Кратковременные средней длительности длительные

Независимо от характера действия источника опасности, результатом ее проявления последней выступает ущерб, который наносится и людям и окружающей среде. Это требует одновременного рассмотрения обоих видов экологического риска. Вместе с тем, во многих случаях экологические риски, связанные с угрозой здоровью и жизни людей необходимо рассматривать отдельно от рисков, обусловленные угрозой состоянию среды обитания.

Оценки экологических рисков с учетом жизненного цикла промышленных продуктов (методики «Экоиндикатор 95» и «Экоиндикатор 99»). Группой компаний и исследовательских организаций Нидерландов были разработаны методики расчета экологических рисков, ориентированные на оценку жизненного цикла основных видов промышленной продукции и процессов (методики «Экоиндикатор 95» и «Экоиндикатор 99» (Goedkoop, 1995; Goedkoop, Spriensma, 1999)). Основная идея этих методик состоит в детальном учете (инвентаризации) всех потребляемых ресурсов и попадающих в среду обитания загрязнителей в течение жизненного цикла определенного продукта (например, стали, бумаги, пластических материалов и т.д.) или процесса (выработка электрической или тепловой энергии, транспортировка грузов и т.п.). Методики используют европейский масштаб для оценки ущерба экосистемам и здоровью людей, это означает, что учитываются потребляемые ресурсы и поступающие в окружающую среду вещества в результате промышленного производства во всех странах Западной и Восточной Европы. Расчеты показали, что при оценке воздействия жизненного цикла (Life Cycle Impact Assessment) надлежит учиты-

вать девять основных процессов, причиняющих вред здоровью людей и ущерб экосистемам, причем каждому из этих процессов приписывается определенный весовой коэффициент (табл. 11.2).

Видно, что максимальный и минимальный весовые коэффициенты отличаются в 40 раз, для европейских стран основными факторами экологического риска считаются обеднение озонового слоя, действие пестицидов и канцерогенов, а также повышение кислотности водоемов.

Разработанные методики позволяют вычислять значения комплексных индикаторов для основных промышленных продуктов и процессов. Комплексный характер экоиндикаторов обусловлен тем, что они учитывают три компонента ущерба – здоровью людей, экосистемам и природным ресурсам.

Таблица 11.2

Процессы, причиняющие вред здоровью людей и среде обитания, их весовые коэффициенты и критерии выявления (для стран Европы, методики «Экоиндикатор 95» и «Экоиндикатор 99»)

Процессы	Весовые коэффициенты	Критерии выявления
Обеднение озонового слоя	100	Вероятность одной смерти в год на 10^6 жителей 5%-я деградация экосистемы
Действие пестицидов	25	Вероятность одной смерти в год на 10^6 жителей
Действие канцерогенных веществ	10	5%-я деградация экосистемы
Повышение кислотности водоемов	10	5%-я деградация экосистемы
Эвтрофикация	5	5%-я деградация экосистемы
Действие тяжелых металлов	5	Учитывается концентрация кадмия – основного экотоксиканта среди тяжелых металлов
Действие зимнего смога	5	Учет жалоб в период действия смога, особенно со стороны астматиков и пожилых людей
Действие летнего смога	2,5	5%-я деградация экосистем
Парниковый эффект	2,5	Повышение температуры на $0,1^{\circ}\text{C}$ каждые 10 лет

Ущерб здоровью людей выражается так называемым приведенным количеством потерянных лет (ПКПЛ или DALYs – disability adjusted life years). Термин «приведенное количество» означает, что суммируются как потерянные годы жизни (YLL – years of life lost), так и годы прожитые в состоянии инвалидности (YLD – years lived disabled), и полученная сумма делится на число жителей Европы. В табл.11.3 приведены показатели ущерба здоровью людей, наносимого основными воздействиями, рассчитанные на одного жителя Европы.

Таблица 11.3

Показатели ущерба здоровью людей, наносимого основными видами воздействия, выраженные в единицах ПКПЛ/год – приведенного количества потерянных лет,

отнесенного к одному году

(методика «Экоиндикатор 99») (Goedkoop, Spriensma, 1999)

Вид воздействия	Ущерб на одного жителя Европы, ПКПЛ/год
Заболевания органов дыхания (действие неорганических веществ)	0,0108
Изменение климата	0,00239
Канцерогенные эффекты	0,00200
Обеднение озонового слоя	0,000219
Заболевания органов дыхания (действие органических веществ)	0,0000684
Ионизирующая радиация	0,0000268
Суммарный ущерб здоровью людей	0,0155

Ущерб экосистемам выражается путем использования двух величин: доли видов, затронутых данным техногенным воздействием, и доли видов, исчезнувших в результате такого воздействия. Эти величины умножаются на площадь экосистемы и время воздействия. В табл. 11.4 представлены показатели ущерба экосистемам, наносимого различными видами воздействия. Эти показатели отнесены к одному году длительности каждого техногенного воздействия.

Таблица 11.4

Показатели ущерба экосистемам, наносимого различными видами воздействия, рассчитанные по методике «Экоиндикатор 99» (Goedkoop, Spriensma, 1999)

Вид воздействия	Единица измерения	Ущерб
Экотоксиканты	ДЗВ·м ² ·год/год	8110
Экотоксиканты	ДИВ·м ² ·год/год	811
Подкисление природных вод и эвтрофикация	ДИВ·м ² ·год/год	375
Землепользование	ДИВ·м ² ·год/год	3950
Суммарный ущерб экосистемам	ДИВ·м ² ·год/год	5130

Примечание. ДЗВ – доля затронутых видов; ДИВ – доля исчезнувших видов.

Ущерб, наносимый природным минерально-сырьевым ресурсам, был рассчитан для двух видов ресурсов: минералов и ископаемого топлива. Это означает, что рассматриваемый ущерб учитывается двояким образом. Во-первых, рассчитываются экологические последствия вовлечения в переработку сырья с постоянно уменьшающимся промышленным содержанием добываемого компонента (например, руд с более низким содержанием меди). Во-вторых, оцениваются экологические эффекты перехода от традиционных видов ископаемого топлива (нефти и газа) к новым энергоносителям (таким, как горючие сланцы и битумные пески), обладающим меньшей теплотворной способностью. Результаты расчетов даны в табл. 11.5.

Таблица 11.5

Показатели ущерба, наносимого природным минерально-сырьевым ресурсам (методика «Экоиндикатор 99» (Goedkoop, Spriensma, 1999))

Вид ресурсов	Единица измерения	Ущерб
Минералы	МДж/год	150
Ископаемое топливо	МДж/год	5790
Суммарный ущерб минерально-сырьевым ресурсам	МДж/год	5940

Итак, каждый из трех компонентов ущерба характеризуется собственным суммарным показателем. Значения этих показателей используются в качестве коэффициентов нормирования для дальнейших расчетов. Кроме того, для этих расчетов вводятся коэффициенты взвешивания, характеризующие относительный вклад каждого из трех компонентов ущерба (сумма этих коэффициентов равна единице). Коэффициенты нормирования и взвешивания, используемые в методиках «Экоиндикатор 95» и «Экоиндикатор 99», представлены в табл. 11.6.

Таблица 11.6

Коэффициенты нормирования и взвешивания, используемые для вычисления показателей ущерба

Вид показателей	Коэффициенты	
	нормирования	взвешивания
Показатели ущерба здоровью людей	0,0155	0,3
Показатели ущерба экосистемам	5130	0,5
Показатели ущерба, наносимого природным минерально-сырьевым ресурсам	5940	0,2

В табл. 11.7 приведены примеры расчета комплексных экоиндикаторов, характеризующих жизненный цикл некоторых промышленных продуктов и процессов.

Таблица 11.7

Примеры расчета комплексных экоиндикаторов («Экоиндикатор 95», (Goedkoop, 1995))

Производственные процессы	Экоиндикаторы, усл.ед.
Производство металлов (на 1 кг)	
Медь	85
Алюминий	18
Нержавеющая сталь	17
Сталь	4,1
Производство пластических материалов (на 1 кг)	
Полиуретан	
Поликарбонат	14
Полипропилен	13
Производство бумаги (на 1 кг)	3,3

Производство стекла (на 1 кг)	3,3
Производство электроэнергии и тепла	2,1
Электричество низкого напряжения (на 1 кВт.ч)	0,67 0,57
Электричество высокого напряжения (на 1 кВт.ч)	0,15 0,063
Тепловая энергия от сжигания нефти (на 1 МДж тепла)	0,34
Тепловая энергия от сжигания газа (на 1 МДж тепла)	0,056

Значения экоиндикаторов выражены в некоторых условных единицах, которые позволяют сравнивать экологические риски, связанные с производством разных продуктов или с различными видами производственной деятельности. Видно, например, что экоиндикатор производства меди в двадцать с лишним раз превышает экоиндикатор производства стали. Это обусловлено тем обилием выбросов вредных загрязнителей, которыми сопровождается выплавка меди. С другой стороны, как показывает табл. 11.7, некоторые пластические материалы также имеют высокие значения экоиндикаторов, что связано со значительными количествами потребляемой энергии и, следовательно, повышенным загрязнением среды обитания.

Другая группа экоиндикаторов, рассчитанных по методике «Экоиндикатор 99», включает в себя показатели ущерба здоровью людей, наносимого различными загрязнителями. Рассчитывались три величины: *фактор ущерба* (ФУ), *нормированный фактор ущерба* (НФУ) и *взвешенный фактор ущерба* (ВФУ). Нормированный фактор ущерба получался путем деления фактора ущерба на коэффициент нормирования (суммарный ущерб здоровью людей, равный 0,0155 ПКПЛ/год), а взвешенный фактор ущерба равнялся нормированному фактору, умноженному на коэффициент взвешивания (0,3). Значения всех трех факторов ущерба выражались в единицах ПКПЛ и относились к 1 кг вещества, поступившего в один из трех компонентов среды обитания (воздух, вода и почва). В табл. 11.8 приведены показатели ущерба здоровью людей, вызываемого воздействием некоторых канцерогенных веществ.

Таблица 11.8

Показатели ущерба здоровью людей, вызываемого воздействием некоторых канцерогенных веществ («Экоиндикатор 99» (Goedkoop, Spriensma, 1999))

Вещества	Воздух			Вода			Почва		
	ФУ	НФУ	ВФУ	ФУ	НФУ	ВФУ	ФУ	НФУ	ВФУ
Бензо-(а)пирен	0,004	0,257	0,077	2,99	193	57,9	0,002	0,133	0,04
Диоксины	179	11500	3460	2020	$1,3 \cdot 10^5$	$3,9 \cdot 10^4$	7,06	455	137
Мышьяк	0,025	1,59	0,476	0,066	4,24	1,27	0,013	0,851	0,255
Кадмий	0,135	8,71	2,61	0,071	4,59	1,38	0,004	0,257	0,077
Хром (VI)	1,75	113	33,9	0,343	22,1	6,64	0,271	17,5	52,5
Никель	0,024	1,52	0,455	0,031	2,01	0,602	0,004	0,254	0,076

Видно, что на первом месте по канцерогенному действию стоят диоксины,

их факторы ущерба весьма значительны для всех компонентов среды обитания. Среди тяжелых металлов наибольшим канцерогенным эффектом обладает шестивалентный хром.

В табл. 11.9 даны показатели ущерба здоровью людей, вызываемого воздействием неорганических веществ на дыхательные пути. Эта таблица показывает, что из перечисленных веществ наибольшую опасность представляет тонкая фракция пыли, находящейся в воздухе. Среди кислотообразующих окислов наибольший вред дыхательным путям наносят NO и NO₂.

Таблица 11.9

Показатели ущерба здоровью людей, вызываемого воздействием неорганических веществ на дыхательные пути (Goedkoop, Spriensma, 1999)

Вещества	ФУ	НФУ	ВФУ
Пыль, фракция 2,5 мкм	$7,0 \cdot 10^{-4}$	0,045	0,0135
Пыль, фракция 10 мкм	$3,8 \cdot 10^{-4}$	0,024	0,0073
NO	$1,4 \cdot 10^{-4}$	0,0088	0,0026
NO ₂	$8,9 \cdot 10^{-5}$	0,0058	0,0017
SO ₂	$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,0035	0,0011
SO ₃	$4,4 \cdot 10^{-5}$	0,0028	0,00085
NH ₃	$8,5 \cdot 10^{-5}$	0,0055	0,00165
CO	$7,3 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$

В табл. 11.10 представлены показатели ущерба, наносимого воздействием токсичных веществ воздуху, воде и почве.

Таблица 11.10

Показатели ущерба, наносимого воздействием токсичных веществ компонентам среды обитания («Экоиндикатор 99», Goedkoop, Spriensma, 1999)

Вещества	Воздух			Вода			Почва		
	ФУ	НФУ	ВФУ	ФУ	НФУ	ВФУ	ФУ	НФУ	ВФУ
Бензо(а)пирен									
Диоксины	142	0,028	0,014	36,8	0,007	0,0036	7250	1,41	0,707
Мышьяк	$1,3 \cdot 10^5$	25,7	12,9	$1,9 \cdot 10^5$	36,5	18,2	$2,9 \cdot 10^5$	40,7	20,4
Никель	592	0,115	0,058	11,4	0,0022	0,0011	610	0,119	0,059
Хром	7100	1,38	0,692	143	0,028	0,014	7320	1,43	0,713
Цинк	4130	0,805	0,403	68,7	0,013	0,0067	4240	0,827	0,413
Медь	2890	0,563	0,282	16,3	0,0032	0,0016	2980	0,581	0,290
Кадмий	1460	0,285	0,142	147	0,285	0,0142	1500	0,285	0,146
Свинец	9650	1,88	0,941	480	0,29	0,047	9940	1,94	0,969
Ртуть	2540	0,495	0,248	7,39	0,0014	$7,2 \cdot 10^{-4}$	12,9	0,0025	0,0013
	829	0,162	0,081	197	0,038	0,019	1680	0,32	0,164

Как и в предыдущих случаях, рассчитывались три вида факторов: ФУ – фактор ущерба, НФУ – нормированный фактор ущерба и ВФУ – взвешенный фактор ущерба; значения всех факторов даны в единицах ДИВ·м²·год и рассчитаны на 1 кг токсиканта, поступившего в среду обитания). Данная таблица показывает, что в отношении экологического риска, вызываемого загрязнением воздуха, рассмотренные токсиканты образуют следующий ряд:

диоксины > Cd > Ni > Cr > Zn > Pb > Cu > Hg > As > бензо(a)пирен.

При загрязнении воды те же вещества формируют несколько измененный ряд экологического риска:

диоксины > Cd > Hg > Cu > Ni > Cr > бензо(a)пирен > Zn > As > Pb.

При загрязнении почвы ряд экологического риска имеет следующий вид:

диоксины > Cd > Ni > бензо(a)пирен > Cr > Zn > Hg > Cu > As > Pb.

У большинства рассматриваемых токсикантов значения ВФУ снижаются в последовательности: почва > воздух > вода, только у свинца порядок уменьшения величины ВФУ иной: воздух > почва > вода. В приведенной таблице роль хрома учитывается вне зависимости от его валентности. Видно, что среди тяжелых металлов первое место занимает кадмий.

Вопросы по Главе 11:

1. Что такое ОВОС?
2. Каковы правовые основы проведения ОВОС?
3. Что такое экологическая экспертиза?
4. Каковы основные принципы проведения экологической экспертизы?
5. Дайте характеристику правовой основе проведения экологической экспертизы.
6. Что такое экологический аудит и каковы процедуры его проведения?
7. Что такое экологический риск?
8. Как проводится оценка экологического риска?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В завершение настоящего учебного пособия необходимо обратить внимание на основополагающие законы экологии, сформулированные в 70-х годах XX столетия американским экологом Барри Коммонером, так как они объединяют многие важные принципы экологии и природопользования и являются справедливыми для многих отраслей знания. Эти законы, сформулированные в виде афоризмов, гласят: «Все связано со всем»; «Все должно куда-то деваться»; «Природа знает лучше» и «Ничто не дается даром».

Рост численности населения и опережающий его рост потребностей общества поставили перед человечеством общемировые задачи обеспечения продовольствием необходимой калорийности и состава, водой приемлемого количества и качества, территорией, обеспечивающей многие аспекты деятельности человека, энергией, не вызывающей глобальных геоэкологических кризисов, продуктами индустриальной деятельности, не приводящей к неприемлемому уровню загрязнения экологической системы Земли. Эти потребности неуклонно возрастают, переводя экосферу из кризисного, но все же устойчивого состояния к неустойчивому, а при дальнейшем развитии неустойчивости – к глобальной катастрофе.

Все эти и подобные потребности удовлетворяются благодаря надежному функционированию процессов, происходящих в экосистемах Земли, таких как глобальные биогеохимические циклы, глобальный гидрологический цикл, глобальный энергетический баланс, синтез и деструкция органического вещества и др. Значительная часть нужд человечества обеспечивается также благодаря добыче и переработке невозобновимых минеральных ресурсов (нефти, газа, металлов и др.).

Из вышеприведенного материала можно сделать заключение, что по отношению к интересам и задачам человечества, в масштабах времени нескольких поколений, экосистемы Земли выполняют четыре основные функции:

- поддержание систем жизнеобеспечения;
- поглощение и переработка продуктов жизнедеятельности человеческого общества;
- воспроизводство возобновимых природных ресурсов (преимущественно биологических);
- обеспечение невозобновимыми (преимущественно минеральными) природными ресурсами.

Последняя из вышеупомянутых функций целиком вызвана деятельностью человека. Она чужда природе, и ее усиление вызывает рост неустойчивости всех экосистем Земли. При увеличении антропогенной и(или) естественной нагрузки, с выходом за допустимые пределы, устойчивость каждой из первых трех функций резко уменьшается. Роль человечества в снижении, а затем и разрушении устойчивости каждой из функций – решающая.

С проблемами ограниченности природных ресурсов (возобновимых и невозобновимых) и загрязнением окружающей среды человечество в принципе

может справиться, и такие подходы обсуждались выше. Что касается восстановления антропогенно нарушенных глобальных систем жизнеобеспечения, то оно во многом находится за пределами возможностей человечества.

По всей видимости, эта ситуация сохранится на ближайшую перспективу, даже если правительства стран мира коренным образом изменят систему приоритетов по отношению к глобальным экосистемам Земли и их элементам. Отсюда вытекает реальная возможность переступания через порог устойчивости с возникновением опасности для существования всего человечества, что является важнейшей проблемой XXI века.

ЛИТЕРАТУРА

- Голубев Г.Н. Геоэкология. Учебник для студентов ВУЗов. – М.: ГЕОС, 1999. – 338 с.
- Ковалев С.Г., Кулагин А.Ю. Природные ресурсы и природопользование. Учебное пособие. – Уфа: БГПУ, 2012. – 308 с.
- Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. Том 1-3. – М.: Прогресс, 1993-1996. – 992 с.
- Наше общее будущее. Доклад Международной Комиссии по окружающей среде и развитию. – М.: Прогресс, 1989. – 372 с.
- Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир: В 2-х т. Пер. с англ. - М.: Мир, 1993. - Т.1 - 420 с., т. 2 - 424 с.
- Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.
- Потапов А.Д. Экология. – М.: ГУП Издательство «Высшая школа», 2000. – 446 с.
- Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания: В 4-х книгах, Кн. 3. Энергетические проблемы человечества: Пер. с англ. – М.: Мир, 1995. – 291 с.
- Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 638 с.
- Родзевич Н.Н. Геоэкология и природопользование: Учеб. для вузов. – М.: Дрофа, 2003. – 256 с.
- Химия окружающей среды / Под ред. Дж. О.-М. Бокриса. – М.: Химия, 1982. – 671 с.
- Ясаманов Н.А. Основы геоэкологии Учебное пособие для экологических специальностей вузов. – М.: Академия, 2003. – 352 с.

С.Г.Ковалев, А.Ю.Кулагин, О.В.Тагирова, Г.А.Зайцев

ГЕОЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Лиц. на издат. деят. Б848421 от 03.11.2000 г. Подписано в печать 04.09.2015.
Формат 60X84/16. Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman.
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. – 11,8. Уч.-изд. л. – 11,6.
Тираж 100 экз. Заказ №

ИПК БГПУ 450000, г.Уфа, ул. Октябрьской революции, 3а